



SKRIPSI - 141501

**STUDI ANALISIS PERFORMA, PROSES
PEMBAKARAN DAN NO_x MOTOR DIESEL
DENGAN SISTEM EGR MENGGUNAKAN *ANGLE
GLOBE EGR VALVE* BERBASIS EKSPERIMEN**

**Achmad Maulana Yasin
4212 100 066**

**Dosen Pembimbing:
Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng, Ph.D**

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017**



THESIS - 141501

**STUDY ANALYSIS OF PERFORMANCE,
COMBUSTION PROCESS AND NO_x EMISSION OF
DIESEL ENGINE WITH EGR SYSTEM USING
ANGLE GLOBE EGR VALVE BY EXPERIMENT**

**Achmad Maulana Yasin
4212 100 066**

**Academic Supervisor:
Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng, Ph.D**

**MARINE ENGINEERING DEPARTEMENT
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017**

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI ANALISIS PERFORMA, PROSES PEMBAKARAN DAN NO_x MOTOR DIESEL DENGAN SISTEM EGR MENGUNAKAN *ANGLE GLOBE EGR VALVE* BERBASIS EKSPERIMEN

Skripsi

Diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan
memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi *Marine Power Plant* (MPP) Program Studi S-1
Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Oleh:

Achmad Maulana Yasin
NRP. 4212 100 066

Disetujui oleh Dosen Pemimbing Skripsi :

Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng, Ph.D
NIP: 1956 0519 1986 10 1001



Surabaya.
Januari 2017

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI ANALISIS PERFORMA, PROSES PEMBAKARAN DAN NO_x MOTOR DIESEL DENGAN SISTEM EGR MENGUNAKAN *ANGLE GLOBE EGR VALVE* BERBASIS EKSPERIMEN

Skripsi

Diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan
memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi *Marine Power Plant* (MPP) Program Studi S-1
Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Oleh:

Achmad Maulana Yasin
NRP. 4212 100 066

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan :



“Halaman Sengaja Dikosongkan”

STUDI ANALISIS PERFORMA, PROSES PEMBAKARAN DAN NO_x MOTOR DIESEL DENGAN SISTEM EGR MENGGUNAKAN *ANGLE GLOBE EGR VALVE* BERBASIS EKSPERIMEN

Nama Mahasiswa : Achmad Maulana Yasin
NRP : 4212 100 066
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing : Ir. Aguk Zuhdi M.F., M.Eng, Ph.D

ABSTRAK

Exhaust Gas Recirculation (EGR) merupakan teknologi pereduksi NO_x pada motor diesel. Cara kerja EGR yaitu mensirkulasikan sebagian gas buang ke ruang bakar. Hal ini dapat menurunkan temperatur pembakaran adiabatik dan mengurangi reaksi oksigen pada nitrogen. Metode ini dapat menghambat pembentukan NO_x selama proses pembakaran karena reaksi pembentukan NO_x terjadi pada temperatur tinggi. Penggunaan EGR memiliki beberapa dampak lain seperti performa motor menurun, SFOC meningkat dan perubahan proses pembakaran. Agar dampak negatif dapat ditekan, penelitian dilakukan dengan mengganti EGR *valve* menggunakan jenis *angle globe valve*. Eksperimen dilakukan dengan menggunakan motor diesel satu silinder tipe YANMAR TF85-MHDI. Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini adalah emisi NO_x berkurang hingga 15,6 g/kWh atau 44,2% dari kondisi motor tanpa EGR. Hasil eksperimen performa menunjukkan bahwa penggunaan *angle globe EGR valve* mampu mengurangi SFOC sebesar 35,29 gr/Kwh. Hasil power, torsi, dan BMEP juga lebih baik dibandingkan dengan kondisi sebelum modifikasi. Sedangkan pada *combustion process* menunjukkan bahwa penggunaan *angle globe EGR valve* menyebabkan *peak of combustion pressure* menjadi lebih rendah dan *rate of heat release* (ROHR) menjadi menurun.

Keywords : *Exhaust Gas Recirculation (EGR), Angle Globe EGR Valve, Performa motor, Proses Pembakaran, NO_x*

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

STUDY ANALYSIS OF PERFORMANCE, COMBUSTION PROCESS AND NO_x EMISSION OF DIESEL ENGINE WITH EGR SYSTEM USING ANGLE GLOBE EGR VALVE BY EXPERIMENT

Student Name : Achmad Maulana Yasin
NRP : 4212 100 066
Departement : Marine Engineering
Academic Supervisor : Ir. Aguk Zuhdi M.F., M.Eng, Ph.D

ABSTRACT

Exhaust Gas Recirculation (EGR) is technology to reduce NO_x emission of diesel engine. This technology could circulated some exhaust gas into the combustion chamber. The adiabatic combustion temperature could decrease and reduce the reaction of oxygen in nitrogen. This method could inhibit the formation of NO_x during the combustion process because NO_x formation reactions occur at high temperatures. EGR has some effects such as decreased engine performance, SFOC increases and changes in the combustion process. In order to suppress the negative impact, the research carried out by replacing the EGR valve using a type angle globe valve. Experiments conducted using a single cylinder diesel engine YANMAR type TF85-MHDI. The results obtained in this study is the emission of NO_x can be reduced up to 15,6g/kWh or 44.2% of the motor condition without EGR. The experimental results indicate that the use of angle globe EGR valve can reduce the SFOC up to 35,29 gr/kWh. Results of power, torque, and BMEP also better compared EGR standart. While in the combustion process showed that the use of EGR valve angle globe causing peak of combustion pressure becomes lower and the rate of heat release (ROHR) is lowered.

Keywords : Exhaust Gas Recirculation (EGR), Angle Globe EGR Valve, Engine Perform, Combustion Process, NO_x

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah S.W.T berkat limpahan rahmat, hidayah dan bimbingan-Nya sehingga skripsi dengan judul **“Studi Analisis Performa, Proses Pembakaran Dan NO_x Motor Diesel Dengan Sistem EGR Menggunakan *Angle Globe Egr Valve* Berbasis Eksperimen”** dapat diselesaikan dengan baik dan lancar. Sholawat serta salam atas junjungan nabi besar Muhammad SAW yang diharapkan syafaatnya hingga diakhir kiamat.

Penulis menyadari bahwa keberhasilan dalam penyelesaian skripsi ini tidak lepas dari dukungan dan doa berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada:

1. Bapak Ir. Aguk Zuhdi M.F., M.Eng, Ph.D selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, masukan, dan ilmu kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Dr. Eng. M. Badrus Zaman, ST. MT selaku Ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan.
3. Bapak AAB. Dinariyana DP, ST, M.Eng, Ph.D selaku dosen wali yang selalu mengingatkan agar penulis dapat segera menyelesaikan skripsi dengan baik.
4. Bapak M. Nur, Bapak Hadi dan Bapak Kalim selaku teknisi Laboratorium *Marine Power Plant* yang telah membantu penulis dalam persiapan pra eksperimen hingga eksperimen selesai.
5. Abah Aziz Muslim dan Mamak Choirun Nisa selaku orang tua dari penulis yang selalu memberikan doa, kasih sayang, motivasi serta nasehat kepada penulis.
6. Evy Nurchoiria selaku seseorang yang senantiasa sabar dan setia kepada penulis sehingga menjadi motivasi tersendiri agar penulis mampu menyelesaikan skripsi dengan cepat, baik dan berkualitas.

7. Sahabat-sahabat pejuang 115 (Andes, Gibas, Iwan, dll) yang saling mengingatkan untuk tetap semangat dalam menyelesaikan skripsi dengan baik.
8. Kawan seperjuangan dan seangkatan BISMARCK '12 (*Best ITS Student of Marine Engineering with Creativity and Knowledge*) yang selalu mendukung, mengingatkan dan memotivasi hingga penulis mampu menyelesaikan skripsi dengan baik dan lancar.
9. Teman-teman ITS Team Sapuangin yang membantu memberikan masukan-masukan dan bantuan hingga penulis mampu menghasilkan skripsi yang berkualitas.
10. Serta semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu perlunya saran dan masukan demi membangun kebaikan dan kemajuan skripsi ini. Akhir kata semoga laporan skripsi ini dapat bermanfaat bagi yang membutuhkannya, amin.

Surabaya, Januari 2017

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|-----------------------------------|------|
| Halaman Judul | i |
| Lembar Penegsahan | iii |
| Abstrak | vii |
| Abstract | i x |
| Kata Pengantar | xi |
| Daftar Isi | xiii |
| Daftar Gambar | xv |
| Daftar Tabel | xvii |
| Daftar Simbol Dan Singkatan | xix |

BAB I PENDAHULUAN

| | |
|-----------------------------|---|
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Perumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Tujuan | 2 |
| 1.4 Manfaat | 3 |

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

BAB III METODOLOGI

| | |
|--|----|
| 3.1 Identifikasi & Perumusan Masalah | 11 |
| 3.2 Studi Literatur | 11 |
| 3.3 Desain dan Manufaktur Sistem EGR | 13 |
| Metode Menghitung Prosentase EGR | 18 |
| 3.4 <i>Engine Set up</i> | 24 |
| 3.5 Uji Eksperimen | 26 |
| 3.6 Pengumpulan Data | 26 |
| 3.7 Analisa & Pembahasan | 26 |
| 3.8 Kesimpulan & Saran | 27 |

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

| | |
|---|----|
| 4.1 Performa Motor Diesel Menggunakan EGR <i>Valve Jenis Angle Globe Valve (AGV)</i> | 29 |
| 4.2 Proses Pembakaran Motor Diesel Menggunakan | |

| | | |
|-----|---|----|
| | EGR Valve Jenis <i>Angle Globe Valve</i> (AGV)..... | 40 |
| 4.3 | Kandungan No _x Motor Diesel Dengan EGR Saat Menggunakan <i>Angle Globe EGR Valve</i> (AGV) | 56 |
| 4.4 | Pembahasan | 58 |

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

| | | |
|-----|------------------|----|
| 5.1 | Kesimpulan | 63 |
| 5.2 | Saran | 63 |

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2.1. <i>Exhaust gas recirculation (EGR)</i> | 5 |
| Gambar 2.2. <i>NO_x at different EGR rates</i> | 6 |
| Gambar 2.3. <i>BSFC and IMEP at various EGR rates</i> | 7 |
| Gambar 2.4. <i>Combustion pressure and HRR at various EGR rates</i> | 8 |
| Gambar 2.5. <i>Control valve, angle globe</i> | 8 |
| Gambar 3.1. Metodologi Penelitian | 12 |
| Gambar 3.2. Desain sistem EGR | 13 |
| Gambar 3.3. Desain <i>angle globe EGR valve</i> | 14 |
| Gambar 3.4. Hasil manufaktur komponen angle globe valve | 14 |
| Gambar 3.5. (a) Intake manifold dan (b) exhaust manifold yang telah dimodifikasi | 15 |
| Gambar 3.6. Connecting hoses dan elbow | 16 |
| Gambar 3.7. Clamp hose | 17 |
| Gambar 3.8. Sistem EGR pada motor diesel | 18 |
| Gambar 3.9. Skema pitot tube dengan manometer | 19 |
| Gambar 3.10. Desain pitot tube pada sistem EGR | 19 |
| Gambar 3.11. Manometer U | 20 |
| Gambar 3.12. Beberapa manometer yang digunakan sebagai alat kalibrasi | 21 |
| Gambar 3.13. engine set up untuk mencari prosentase EGR | 23 |
| Gambar 3.14. <i>Engine test bed and engine set up</i> | 24 |
| Gambar 4.1. Performansi SFOC dengan power pada 0% EGR . | 29 |
| Gambar 4.2. Performansi SFOC dengan power pada 10% EGR menggunakan <i>angle globe valve</i> | 30 |
| Gambar 4.3. Performansi SFOC dengan power pada 20% EGR menggunakan <i>angle globe valve</i> | 31 |
| Gambar 4.4. Performansi SFOC dengan power pada 30% EGR menggunakan <i>angle globe valve</i> | 32 |
| Gambar 4.5. Performansi SFOC dengan power pada 10% EGR menggunakan <i>ball valve</i> | 33 |
| Gambar 4.6. Performansi SFOC dengan power pada 20% EGR menggunakan <i>ball valve</i> | 34 |

| | |
|--|----|
| Gambar 4.7. Performansi SFOC dengan power pada 30% EGR menggunakan ball valve | 35 |
| Gambar 4.8. Performansi Power vs RPM pada variasi %EGR menggunakan <i>angle globe valve</i> dan <i>ball valve</i> .. | 36 |
| Gambar 4.9. Performansi torsi vs RPM pada variasi %EGR menggunakan <i>angle globe valve</i> dan <i>ball valve</i> .. | 38 |
| Gambar 4.10. Performansi BMEP vs RPM pada variasi %EGR menggunakan <i>angle globe valve</i> dan <i>ball valve</i> .. | 39 |
| Gambar 4.11. Grafik <i>combustion pressure</i> pada 100% RPM dan 25% load | 41 |
| Gambar 4.12. Grafik maximum <i>combustion pressure</i> pada 100% RPM dan 25% load | 42 |
| Gambar 4.13. Grafik <i>combustion pressure</i> pada 100% RPM dan 50% load | 43 |
| Gambar 4.14. Grafik maximum <i>combustion pressure</i> pada 100% RPM dan 50% load | 44 |
| Gambar 4.15. Grafik <i>combustion pressure</i> pada 100% RPM dan 75% load | 45 |
| Gambar 4.16. Grafik maximum <i>combustion pressure</i> pada 100% RPM dan 75% load..... | 46 |
| Gambar 4.17. Grafik <i>combustion pressure</i> pada 100% RPM dan 100% load | 47 |
| Gambar 4.18. Grafik maximum <i>combustion pressure</i> pada 100% RPM dan 100% load | 48 |
| Gambar 4.19. Grafik <i>rate of heat release</i> (ROHR) pada 100% RPM dan 25% load | 49 |
| Gambar 4.20. Grafik <i>rate of heat release</i> (ROHR) pada 100% RPM dan 50% load | 51 |
| Gambar 4.21. Grafik <i>rate of heat release</i> (ROHR) pada 100% RPM dan 75% load | 53 |
| Gambar 4.22. Grafik <i>rate of heat release</i> (ROHR) pada 100% RPM dan 100% load | 54 |
| Gambar 4.23. Diagram batang kadar NO _x pada kondisi 100% RPM dan beban bervariasi | 56 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 2.1. MARPOL Annex VI, batas kandungan NO _x | 9 |
| Tabel 3.1. Hasil kalibrasi Δh manometer | 22 |
| Tabel 3.2. Kalkulasi error kalibrasi manometer | 23 |
| Tabel 3.3. <i>MARPOL Annex VI, Appendix II Test Cycle</i> | 25 |

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

| | |
|-----------------|--|
| 0%EGR | : Kondisi mesin dengan prosentase 0%EGR atau tanpa sistem EGR |
| 10%AGV | : Kondisi mesin dengan prosentase 10% EGR menggunakan <i>angle globe EGR valve</i> |
| 20%AGV | : Kondisi mesin dengan prosentase 20% EGR menggunakan <i>angle globe EGR valve</i> |
| 30%AGV | : Kondisi mesin dengan prosentase 30% EGR menggunakan <i>angle globe EGR valve</i> |
| 10%BV | : Kondisi mesin dengan prosentase 10% EGR menggunakan <i>ball EGR valve</i> |
| 20%BV | : Kondisi mesin dengan prosentase 10% EGR menggunakan <i>ball EGR valve</i> |
| 30%BV | : Kondisi mesin dengan prosentase 10% EGR menggunakan <i>ball EGR valve</i> |
| %EGR | : Prosentase EGR atau perbandingan massa gas buang EGR yang tersirkulasi dengan massa total udara pembakaran |
| AGV | : <i>Angle Globe Valve (EGR Valve Type)</i> |
| BMEP | : <i>Brake Mean Efective Pressure</i> |
| BV | : <i>Ball Valve (EGR Valve Type)</i> |
| CA | : <i>Crank Angle</i> |
| EGR | : <i>Exhaust Gas Recirculation</i> |
| NO _x | : <i>Nitrogen Oxides</i> |
| PM | : <i>Particular Matter</i> |
| ROHR | : <i>Rate Of Heat Release</i> |
| SFOC | : <i>Spesific Fuel Oil Comsumption</i> |
| TMA | : Titik Mati Atas |

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan moda transportasi laut di era proyek Tol Laut semakin meningkat. Sebagian besar moda transportasi laut yang dipilih adalah kapal dengan motor penggerak berupa motor diesel. Jenis penggerak ini dipilih karena motor diesel memiliki nilai efisiensi thermal yang lebih tinggi dibanding dengan jenis penggerak yang lain, selain itu motor diesel memiliki karakteristik untuk pemenuhan torsi dan power yang tinggi sehingga cocok untuk penggerak utama kapal.

Perkembangan teknologi motor diesel pada saat ini sudah sangat canggih. Teknologi-teknologi yang dikembangkan tidak hanya dimaksudkan untuk mencari nilai efisiensi yang lebih tinggi, namun juga mengarah ke teknologi yang berbasis ramah lingkungan. Beberapa teknologi berbasis ramah lingkungan yang pernah dipublikasikan adalah teknologi *Exhaust Gas Recirculation* (EGR), *Selective Catalytic Reduction* (SCR), *Amonia Scrubber*, *Air Humidifier*, *Diret Water Injection* (DWI), *Water Fuel Emulsification*, *Diesel Particulate Filter* (DPF), dll.

Exhaust Gas Recirculation (EGR) merupakan sistem reduksi NO_x yang paling sederhana bila dibandingkan dengan sistem reduksi NO_x yang lain. Cara kerja EGR adalah dengan mensirkulasikan sebagian dari gas buang kembali ke dalam ruang bakar. Pencampuran udara dengan gas buang menjadi inert gas sehingga menurunkan temperatur pembakaran adiabatik dan mengurangi reaksi oksigen terhadap nitrogen sehingga pembentukan NO_x dapat dikurangi. Namun, terdapat beberapa kerugian saat menggunakan EGR, yakni dapat menurunkan nilai performa motor, meningkatkan konsumsi bahan bakar dan meningkatkan emisi *particular* (PM).

Pada skripsi ini, dikembangkan desain EGR agar didapatkan sistem EGR yang mampu mereduksi NO_x lebih baik lagi serta mengurangi efek *weakness* yang ditimbulkan. Salah satu

cara untuk memperbaiki sistem EGR adalah dengan cara menggunakan jenis *EGR valve* yang memiliki nilai *head loss minor* (K) yang kecil pada setiap prosentase bukaan *valve* yang berbeda. Dalam hal ini dipilih *valve* jenis *Angle Globe Valve* sebagai *EGR valve* dengan desain khusus agar didapat nilai *head loss minor* (K) yang kecil.

Agar mengetahui pengaruh penggunaan *EGR valve* jenis *angle globe valve*, maka perlu dilakukan sebuah pengujian pada motor diesel sehingga diketahui nilai performa motor, proses pembakaran dan penurunan kadar NO_x . Analisa performa motor perlu dilakukan agar dapat mengukur sejauh mana prestasi power, torsi dan efisiensi penggunaan bahan bakar yang dihasilkan motor diesel setelah dilakukan modifikasi komponen *EGR valve* jenis *angle globe valve*. Selain itu analisa terhadap proses pembakaran juga harus diteliti sebagai bahan pembelajaran terhadap penyebab terjadinya penurunan jumlah NO_x serta perubahan performa setelah dilakukan modifikasi.

1.2 Perumusan Masalah

Adapun permasalahan yang dapat di bahas pada usulan skripsi ini adalah

1. Bagaimana performa motor saat menggunakan *EGR valve* jenis *angle globe valve*?
2. Bagaimana hasil proses pembakaran pada motor saat menggunakan *EGR valve* jenis *angle globe valve*?
3. Berapa kadar NO_x pada motor saat menggunakan *EGR valve* jenis *angle globe valve*?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari usulan skripsi ini adalah:

1. Untuk mengetahui performa motor saat menggunakan *EGR valve* jenis *angle globe valve*.
2. Untuk mengetahui hasil proses pembakaran pada motor saat menggunakan *EGR valve* jenis *angle globe valve*.

3. Untuk mengetahui penurunan kadar NO_x pada motor saat menggunakan *EGR valve* jenis *angle globe valve*.

1.4 Manfaat

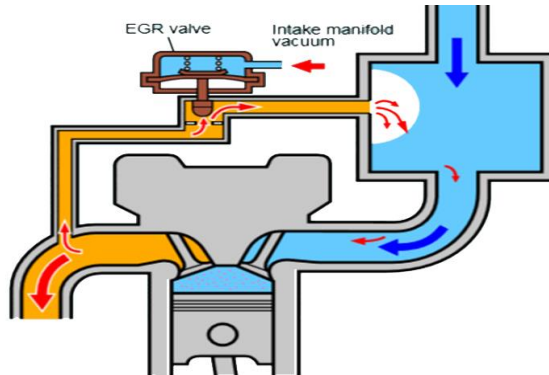
Manfaat yang diperoleh dari usulan skripsi ini adalah :

1. Menambah pengetahuan sekaligus mengaplikasikan secara langsung teknologi pereduksi emisi gas buang pada motor diesel, khususnya untuk teknologi EGR.
2. Menambah pengetahuan mengenai pengaruh karakteristik proses pembakaran pada motor diesel serta perubahannya setelah ditambah EGR untuk pereduksi emisi NO_x .
3. Dapat memberikan referensi mengenai pemilihan jenis *EGR valve* yang baik. Definisi baik dalam hal ini adalah mampu menambah nilai fungsi EGR sebagai pereduksi NO_x tanpa memberikan efek *weakness* yang lain pada motor (performa menurun, SFOC meningkat dan kandungan PM meningkat).

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

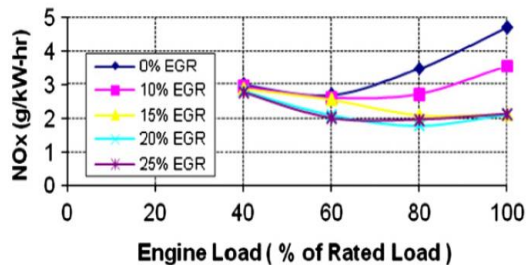
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Exhaust Gas Recirculation (EGR) merupakan teknologi pereduksi emisi gas buang NO_x pada motor diesel. Cara kerja EGR adalah mensirkulasikan sebagian gas buang kembali ke dalam ruang bakar melalui *intake manifold* seperti yang terlihat pada gambar 2.1 (Senthilkumar, dkk, 2013). Gas buang motor diesel bersifat *inert gas*. Pencampuran udara dengan gas buang dapat mengurangi konsentrasi oksigen dan menurunkan temperatur pembakaran adiabatik pada ruang bakar (Dlukha, 2012).



Gambar 2.1. *Exhaust gas recirculation (EGR)* (Senthilkumar, dkk, 2013)

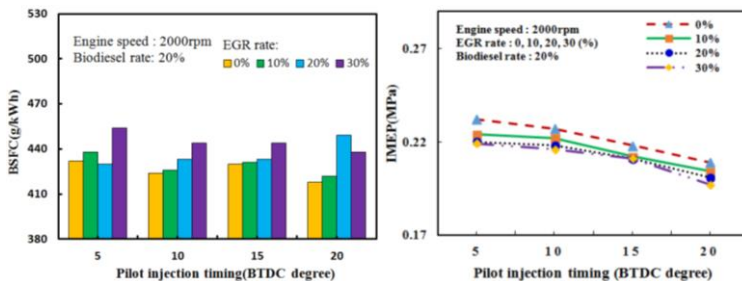
NO_x terbentuk pada proses pembakaran motor diesel ketika oksigen bertemu dengan nitrogen pada temperatur pembakaran lebih dari 2000K (Jothithirumal, 2012). NO_x pada gas buang motor diesel terdiri dari 95% NO , 3-4% NO_2 , sisanya N_2O dan N_2O_3 . Substansi NO_x tidak beraroma, namun terasa pedih di mata. Faktor utama yang mempengaruhi konsentrasi NO_x selama pembakaran diantaranya yaitu temperatur maksimum (P_{max}) yang dicapai dalam ruang bakar dan *air fuel ratio* (AFR) (Darsono, 2010).



Gambar 2.2. NO_x at different EGR rates (Hussain, 2012)

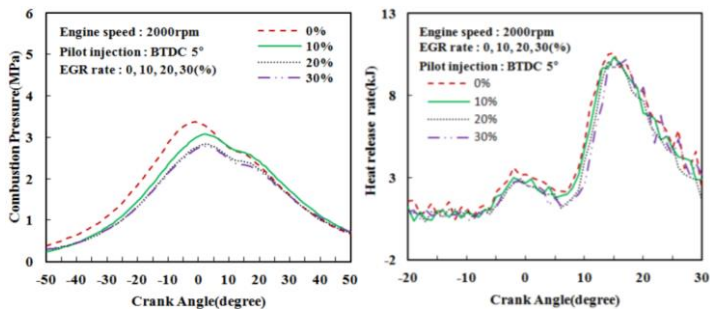
Pada gambar 2.2, penggunaan EGR sebanyak 25% pada beban motor 100%, mampu mengurangi konsentrasi NO_x sebanyak 56%. Penggunaan EGR pada motor diesel tidak hanya mengakibatkan menurunnya NO_x . Namun, terdapat beberapa kerugian dari EGR yaitu performa motor menurun, konsumsi bahan bakar meningkat dan beberapa emisi seperti HC, CO dan *particular* (PM) juga meningkat (Umam, 2009).

Pada gambar 2.3 memperlihatkan bahwa penggunaan EGR sebanyak 30% pada motor diesel dapat menambah *brake specific fuel consumption* (BSFC) sebanyak 6%. Selain itu penambahan prosentase EGR pada motor diesel mengakibatkan P_{max} dan *indicated mean efectife pressure* (IMEP) mengalami *trend* penurunan. Hal ini yang mengakibatkan performa motor diesel saat menggunakan EGR menjadi menurun (Ge, 2015).



Gambar 2.3. BSFC and IMEP at various EGR rates (Ge, 2015)

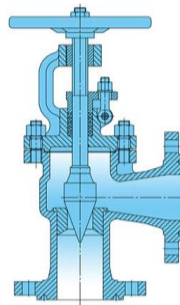
Penggunaan EGR juga berpengaruh pada proses pembakaran motor diesel. Pengaruh EGR pada proses pembakaran adalah *combustion pressure* dan *heat release rate* (HRR) dapat menurun serta durasi *ignition delay* menjadi panjang. Pada gambar 2.4 menunjukkan bahwa perubahan EGR rate dari 0-30% terhadap motor diesel mengakibatkan *combustion pressure* (Mpa) dan *heat release* (kJ) mengalami penurunan (Ge, 2015).



Gambar 2.4. *Combustion pressure and HRR at various EGR rates* (Ge, 2015)

Komponen yang menyusun sistem EGR terdiri atas pipa yang menghubungkan antara saluran exhaust dan intake manifold. Di antara saluran itu terdapat *EGR valve*. *EGR valve* merupakan komponen yang sangat penting dalam sistem EGR. Fungsi dari komponen ini adalah untuk mengatur jumlah massa gas buang yang dapat disalurkan menuju intake manifold. Jumlah massa gas buang yang disalurkan disesuaikan berdasarkan RPM dan pembebanan yang dialami oleh motor. Prosentase EGR ($\%EGR$) adalah jumlah massa gas buang yang disirkulasikan $[\dot{m}(egr)]$ dibandingkan dengan total udara keseluruhan yang dapat digunakan pada proses pembakaran $[\dot{m}(i)]$ (Salhab, 2012).

Oleh karena itu, EGR valve dituntut untuk bisa bekerja pada setiap prosentase bukaan valve yang berbeda-beda dan memberikan nilai head loss minor (K) yang kecil (Hendrajat, 2011). Berdasarkan alasan itu, maka diperlukan penelitian mengenai pemilihan EGR valve secara mendalam baik ditinjau berdasarkan performa, proses pembakaran dan emisi gas buang motor diesel. Angle Globe merupakan salah satu jenis control valve yang mampu memberikan nilai head loss minor (k) yang kecil untuk karakter penggunaan berdasarkan prosentase bukaan (Sinulingga, 2009). Dalam hal ini dapat diteliti penggunaan EGR valve dengan jenis *angle globe valve*, dengan harapan dapat meningkatkan fungsi EGR sebagai pereduksi NO_x dan mengurangi *weakness effect* yang ditimbulkan oleh EGR.



Gambar 2.5. Control valve, angle globe (Sinulingga, 2009)

Sebagai tolak ukur dalam proses penelitian, diperlukan nilai ambang batas terhadap emisi gas buang motor diesel. Pada peraturan Pelayaran Internasional, kandungan emisi gas buang pada motor penggerak utama harus berada dibawah ambang batas yang telah ditetapkan. Ambang batas gas buang mengacu pada regulasi yang dikeluarkan oleh IMO MARPOL Annex VI yaitu:

Tabel 2.1. MARPOL Annex VI, batas kandungan NO_x
(MARPOL, 1998)

| Tier | Date | NO _x Limit, g/kWh | | |
|---|-------|------------------------------|----------------------|---------------|
| | | $n < 130$ | $130 \leq n < 2000$ | $n \geq 2000$ |
| Tier I | 2000 | 17.0 | $45 \cdot n^{-0.2}$ | 9.8 |
| Tier II | 2011 | 14.4 | $44 \cdot n^{-0.23}$ | 7.7 |
| Tier III | 2016† | 3.4 | $9 \cdot n^{-0.2}$ | 1.96 |
| † In NO _x Emission Control Areas (Tier II standards apply outside ECAs). | | | | |

Sedangkan pada Pelayaran Nasional, kandungan emisi gas buang yang dihasilkan oleh motor penggerak utama kapal telah diatur pada Peraturan Menteri Perhubungan no 29 tahun 2014 pasal 30, dimana setiap kapal dengan tonase kotor GT 100 sampai dengan GT 399 yang memiliki motor diesel dibawah 130 kW yang berlayar di perairan Indonesia wajib memenuhi ketentuan dalam Peraturan Menteri ini. (PM No 29 pasal 30, 2014)

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

BAB III METODOLOGI

Metode yang digunakan penulis dalam penelitian ini yaitu dengan metode eksperimen. Eksperimen terbagi menjadi 3 sub bagian yaitu performa, proses pembakaran dan emisi. Untuk menguji kinerja dari motor diesel maka sebelumnya harus dilakukan engine set up terhadap motor diesel yang dapat dilakukan pengujian test bed, combustion analyzer dan exhaust emission analyzer. Detail eksperimen dapat dilihat pada diagram alir 3.1

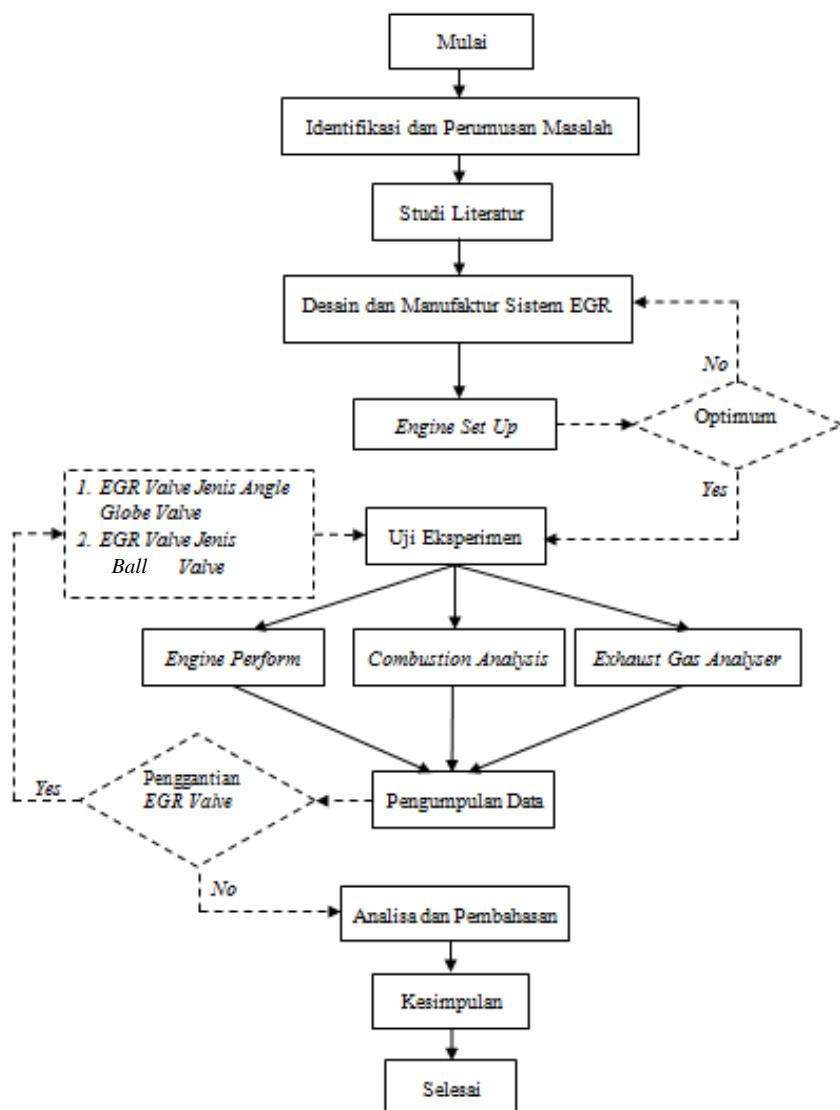
Keterangan:

3.1 Identifikasi & Perumusan Masalah

Identifikasi masalah pada penelitian ini untuk mengetahui pengaruh penggunaan EGR pada motor diesel ditinjau dari hasil uji performa, proses pembakaran yang terjadi dalam motor dan penurunan jumlah NO_x . Selain itu, untuk meneliti pengaruh pemilihan *EGR valve* jenis *angle globe valve* terhadap performa, proses pembakaran dan penurunan NO_x dibandingkan dengan jenis *valve* yang lain, dalam hal ini proses perbandingan *valve* dapat dilakukan dengan *valve* pembanding jenis *Ball valve* (sebagai referensi).

3.2 Studi Literatur

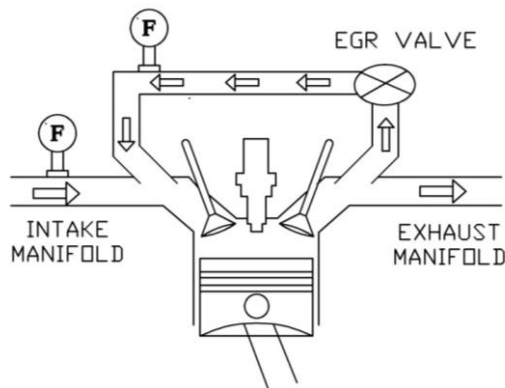
Studi literatur dilakukan untuk mempelajari teori-teori yang dapat menunjang dalam penyelesaian permasalahan yang ada. Studi literatur didapatkan dari beberapa sumber seperti buku, jurnal, tugas akhir, dan informasi di internet. Pada penelitian ini, studi literatur mengacu pada karakteristik penggunaan EGR pada motor diesel serta pemilihan jenis *valve* yang memiliki nilai *head loss minor* (K) yang kecil disesuaikan dengan karakter penggunaan *EGR valve* yang berubah-ubah sesuai dengan RPM dan beban yang diterima oleh motor diesel.



Gambar 3.1. Metodologi Penelitian

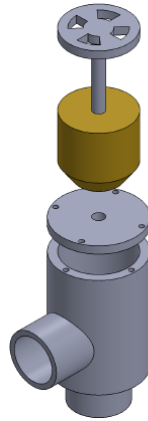
3.3 Desain dan Manufaktur Sistem EGR

Tahap awal pada pembuatan sistem EGR motor diesel adalah proses desain. Didalam proses desain dapat menggambarkan sebuah perencanaan manufaktur seperti yang terlihat pada gambar 3.2 dibawah. Proses desain dalam penelitian ini meliputi desain angle globe EGR valve dan sistem perpipaan EGR untuk menghubungkan sisi exhaust manifold dan intake manifold. Dalam merencanakan komponen yang dapat dimanufaktur, perlu digambar terlebih dahulu menggunakan aplikasi 3D design. Hal ini untuk meminimalisir terjadinya kesalahan untuk setiap komponen yang dimanufaktur.



Gambar 3.2. Desain sistem EGR

Beberapa data diperlukan untuk melakukan estimasi ukuran terhadap komponen yang dapat dibuat. Motor diesel yang dapat dimodifikasi memiliki diameter intake manifold 34,25mm dan diameter exhaust manifold 32 mm. Variabel pengambilan data untuk %EGR adalah maksimal 30%. Dari data-data tersebut maka peneliti mengestimasi saluran perpipaan untuk sistem EGR adalah 1 inchi atau 25,4 mm.

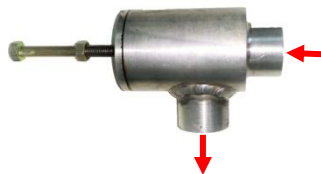


Gambar 3.3. Desain *angle globe EGR valve*

Setelah mengetahui diameter saluran utama sistem EGR, tahap selanjutnya adalah desain angle globe valve. Diameter dalam untuk inlet dan outlet port angle globe valve adalah 25,4 mm. Gambar 3.3 merupakan desain angle globe EGR valve menggunakan 3D solidwork. Angle globe EGR valve didesain untuk sisi input dan output bersudut 90 derajat. Bagian globenya didesain berbentuk tirus untuk mengarahkan fluida dari sisi input ke sisi output. Diharapkan desain ini dapat lebih baik dari jenis valve yang ada di pasaran karena tidak ada hambatan ketika aliran udara melewati sisi globe. Selain itu valve didesain agar mudah dalam perawatan bagian dalam valve terhadap kerak-kerak karbon yang mengendap hasil proses pembakaran.



(a)

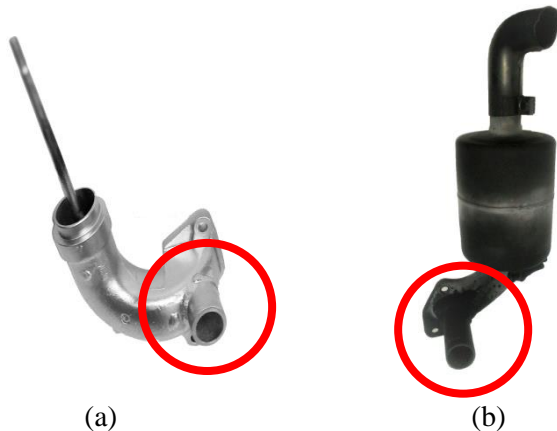


(b)

Gambar 3.4. Hasil manufaktur komponen angle globe valve

Material yang digunakan dalam membuat angle globe EGR valve adalah alumunium. Material ini dipilih karena mudah dimanufaktur, tahan panas, tahan karat, kuat dan ringan. Beberapa peralatan yang digunakan dalam manufaktur angle globe EGR valve adalah drill machine, CNC, cutting machine dan peralatan las. Pada gambar 3.4.(a) menunjukkan hasil komponen penyusun angle globe EGR valve setelah dilakukan proses machining. Setelah komponen terbentuk, maka dilakukan proses assembly dengan menggunakan peralatan las. Pada gambar 3.4.(b) merupakan hasil perakitan seluruh komponen angle globe EGR valve. Uji coba dilakukan untuk memeriksa kebocoran, pelaksanaan fungsi dan kehandalan dari valve ini.

Tahap selanjutnya adalah memodifikasi bagian intake manifold dan exhaust manifold. Modifikasi ini bertujuan untuk jalur sistem EGR, sebagai saluran gas buang dari exhaust manifold menuju intake manifold.



Gambar 3.5. (a) Intake manifold dan (b) exhaust manifold yang telah dimodifikasi

Diameter EGR port yang berada pada intake manifold dan exhaust manifold adalah 25,4 mm. Material yang digunakan untuk memodifikasi intake manifold adalah alumunium.

Sedangkan material untuk memodifikasi exhaust manifold adalah besi. Gambar 3.5.(a) dan 3.5.b) merupakan hasil jadi intake manifold dan exhaust manifold setelah dilakukan proses modifikasi.

Tahap selanjutnya adalah menyiapkan jalur sistem EGR. Jalur sistem EGR dibentuk menggunakan connecting hose. Spesifikasi untuk hose yang dipilih adalah hose yang tahan terhadap tekanan dan temperatur tinggi. Hose harus memiliki ketahanan terhadap tekanan dan temperatur tinggi karena fluida yang dialirkan adalah fluida gas buang. Gas buang memiliki temperatur yang tinggi serta tekanan yang tinggi sesuai dengan RPM kerja. Pada gambar 3.6.a) merupakan beberapa connecting hose yang digunakan dengan panjang hose disesuaikan dengan sistem yang telah didesain.



Gambar 3.6. Connecting hoses dan elbow

Gas buang yang berasal dari exhaust manifold dialirkan menuju intake manifold menggunakan connecting hoses. Dalam penyalurannya diperlukan elbow untuk mempermudah terbentuknya belokan-belokan. Pada gambar 3.6.b) merupakan komponen elbow yang digunakan pada sistem EGR. Elbow yang digunakan mampu memberikan belokan sebesar 90 derajat. Elbow yang diperoleh di pasaran dimanufaktur ulang sehingga memiliki extension yang lebih panjang untuk mempermudah pemasangan hoses.



Gambar 3.7. Clamp hose

Setelah proses manufaktur angle glove EGR valve, port EGR pada intake dan exhaust manifold, connecting hoses dan elbow selesai dikerjakan, maka tahap selanjutnya adalah memberikan perapat pada setiap sambungan-sambungan menggunakan clamp hoses. Gambar 3.7 diatas merupakan penampakan dari komponen clamp hoses. Komponen ini digunakan untuk mencegah terjadinya kebocoran gas buang yang mengalir didalam sistem sekaligus memberikan kekuatan pada struktur sistem EGR.

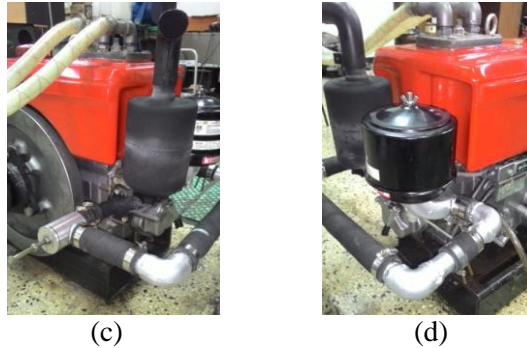
Seluruh komponen penyusun sistem EGR dipasang seperti yang ditunjukkan pada gambar. Gambar 3.8.(a) merupakan sistem EGR tampak depan, gambar 3.8.(b) merupakan sistem EGR tampak atas, gambar 3.8.(c) merupakan penampakan sistem EGR pada bagian exhaust manifold dan gambar 3.8.(d) merupakan penampakan sistem EGR pada bagian intake manifold. Untuk mengetahui keberhasilan dan kehandalan dari sistem yang telah dibuat, maka dilakukan proses pra eksperimen.



(a)



(b)

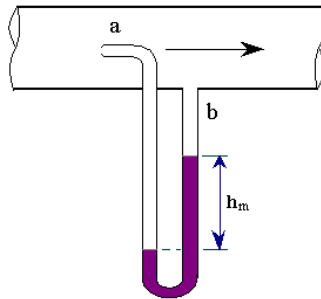


Gambar 3.8. Sistem EGR pada motor diesel

Mula-mula angle globe EGR valve ditutup rapat sehingga tidak ada gas buang yang mengalir menuju intake manifold (0%EGR). Setelah itu motor dinyalakan beberapa saat untuk proses pemanasan motor. Setelah itu angle globe EGR valve dibuka perlahan-lahan hingga pembukaan maksimal. Pada saat proses pembukaan valve, dilakukan pemeriksaan kebocoran, kehandalan sistem dan analisa apakah sistem memberikan pengaruh terhadap performa engine. Hasil yang diperoleh dari kegiatan pra eksperimen adalah sistem yang telah dibuat mampu memberikan efek ditinjau dari performa motor diesel serta tidak ada kebocoran disetiap sambungan-sambungannya sehingga dapat dikatakan cukup handal.

Metode Menghitung Prosentase EGR

Prosentase EGR merupakan variabel yang dijadikan objek penelitian. Oleh karena itu, nilai prosentase EGR harus diperoleh dengan akurat. Metode yang digunakan dalam menghitung prosentase EGR adalah dengan menggunakan pipa pitot. Prosentase EGR didapat dengan cara membandingkan gas buang yang mengalir pada sistem EGR dengan udara yang mengalir pada intake manifold.



Gambar 3.9. Skema pitot tube dengan manometer

Pitot tube merupakan salah satu metode untuk mengetahui velocity fluida yang mengalir pada pipa. Pada gambar 3.9 diatas menunjukkan skema pitot tube dengan manometer U. Pitot tube terbagi menjadi 3 tekanan yaitu titik a adalah tekanan stagnasi, titik b adalah tekanan statis dan didalam manometer merupakan tekanan dinamis. Δh yang timbul didalam manometer digunakan untuk mengetahui velocity fluida yang mengalir didalam pipa. Dengan diketahuinya velocity fluida, maka mass flow rate dari fluida tersebut dapat dihitung.



(a)



(b)

Gambar 3.10. Desain pitot tube pada sistem EGR

Agar prosentase EGR dapat diketahui, maka pitot tube diletakkan pada 2 sisi yang berbeda. pitot tube pertama diletakkan pada sistem EGR dan pitot tube kedua diletakkan pada intake manifold. Gambar 3.10 diatas merupakan pitot tube yang dipasang pada sistem EGR. Pitot tube yang dibuat sendiri terdiri

atas pipa untuk tekanan stagnasi dan tekanan statis. Material yang digunakan adalah pipa kuningan dengan diameter dalam 4 mm. Salah satu pipa dipasang dengan posisi yang berada didalam pipa membentuk belokan 90 derajat. Arah inlet pipa menghadap berlawanan dengan arah aliran fluida yang mengalir. Sedangkan untuk pipa tekanan statis diletakkan didasar pipa dengan lubang mengarah tegak lurus dengan arah aliran fluida. Kedua ujung pipa dihubungkan ke manometer U untuk mengetahui tekanan dinamis dan Δh yang terjadi.



Gambar 3.11. Manometer U

Manometer yang digunakan pada penelitian ini adalah manometer U dengan fluida yang digunakan adalah solar dex. Fluida ini digunakan karena memiliki massa jenis yang rendah yaitu 850 kg/m^3 , lebih rendah dibanding air raksa dan air. Dengan massa jenis yang rendah diharapkan mampu memberikan pembacaan yang detail pada manometer U. Pada gambar 3.11 diatas menunjukkan penampakan manometer U yang digunakan dalam pengukuran prosentase EGR.

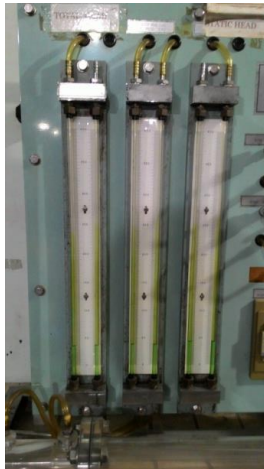
Manometer U yang diciptakan harus dikalibrasi terlebih dahulu untuk mengetahui seberapa besar error yang dihasilkan. Kalibrasi manometer dilakukan dengan membandingkan hasil yang diperoleh menggunakan manometer U buatan sendiri

dengan hasil yang diperoleh menggunakan manometer lain yang berasal dari pabrik.



(a)

(b)



(c)

Gambar 3.12. Beberapa manometer yang digunakan sebagai alat kalibrasi

Pada gambar 3.12. diatas merupakan beberapa manometer lain yang digunakan untuk mengkalibrasi manometer buatan sendiri. Manometer U buatan sendiri ini dikalibrasi dengan 3 jenis manometer yaitu:

- a. Manometer V air raksa
- b. Manometer sinus air raksa
- c. Manometer U air raksa

Tabel 3.1. Hasil kalibrasi Δh manometer

| | ΔH (mm) | | | |
|------------|-----------------|-------------------|-------------------|-----------------------|
| | manometer U | manometer V raksa | manometer U raksa | manometer sinus raksa |
| P1 (2 bar) | 43 | 38 | 26 | 38 |
| P2 (2 bar) | 43 | 38 | 26 | 38 |
| P3 (2bar) | 43 | 38 | 26 | 38 |
| P4 (3 bar) | 61 | 53 | 38 | 53 |
| P5 (3 bar) | 61 | 53 | 38 | 53 |
| P6 (3 bar) | 61 | 53 | 38 | 53 |

Pada tabel 3.1 diatas merupakan hasil Δh manometer yang diperoleh dengan membandingkan manometer U buatan sendiri dengan manometer buatan pabrik. Dari data diatas, error di hitung dengan cara membandingkan Δh aktual dengan Δh formula. Beberapa data yang diperlukan untuk melakukan perhitungan Δh formula adalah massa jenis solar dex sebesar 850 kg/m^3 dan massa jenis air raksa sebesar 1360 kg/m^3 .

Sedangkan formula yang digunakan untuk menghitung Δh formula untuk manometer U air raksa adalah $\rho_1 \cdot g \cdot \Delta H_1 = \rho_2 \cdot g \cdot \Delta H_2$ dan Δh formula untuk manometer V dan sinus air raksa adalah $h_{vertical} (mm) = \sin 45^\circ \cdot x_{manometer}$. Dari perhitungan tersebut didapatkan Δh formula untuk masing-masing manomter adalah seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.2 dibawah. Berdasarkan tabel 3.2, kesimpulan yang diperoleh adalah bahwa manometer U buatan sendiri memiliki error sebesar 1,17% terhadap 3 buah manometer pembeding.

Setelah proses kalibrasi pitot dan manometer selesai dilakukan, tahap selanjutnya adalah melakukan perhitungan prosentase EGR pada motor diesel. Tahap ini masuk kedalam salah satu tahapan engine set up.

Tabel 3.2. Kalkulasi error kalibrasi manometer

| | ΔH (mm) | | | | | | |
|--------------------------------|--------------------|-----------------------------|------------|--------------------------|------------|------------------------------|------------|
| | mano meter U | mano meter V raksa | error % | manome ter U raksa | error % | manome ter sinus raksa | error % |
| P1 (2 bar) | 43 | 38,01 | 0,018 | 26,875 | 3,26 | 38,01 | 0,018 |
| P2 (2 bar) | 43 | 38,01 | 0,018 | 26,875 | 3,26 | 38,01 | 0,018 |
| P3 (2bar) | 43 | 38,01 | 0,018 | 26,875 | 3,26 | 38,01 | 0,018 |
| P4 (3 bar) | 61 | 53,92 | 1,701 | 38,125 | 0,33 | 53,92 | 1,701 |
| P5 (3 bar) | 61 | 53,92 | 1,701 | 38,125 | 0,33 | 53,92 | 1,701 |
| P6 (3 bar) | 61 | 53,92 | 1,701 | 38,125 | 0,33 | 53,92 | 1,701 |
| | | Σ | 5,157 | Σ | 10,75 | Σ | 5,157 |
| rata-rata error = 1,17% | | | | | | | |

Engine set up pada tahap ini yaitu untuk menguji apakah sistem EGR yang telah dimanufaktur mampu mencapai prosentase hingga 30%. Dengan menggunakan pitot tube dan manometer, maka valve diatur hingga didapat prosentase EGR yang diinginkan yaitu 10%,20% dan 30%. Hasil yang didapat yaitu sistem mampu memberikan prosentase EGR hingga 38% (prosentase maksimal)



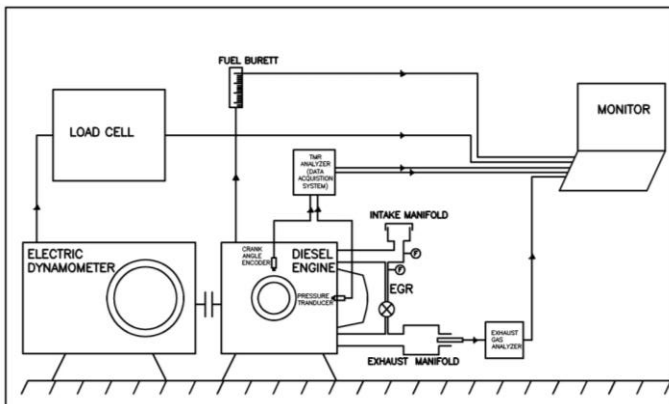
Gambar 3.13. engine set up untuk mencari prosentase EGR

Gambar 3.13 merupakan proses engine set up dan pra eksperimen pada motor diesel untuk mencari prosentase EGR. Proses pra eksperimen yaitu dengan cara menghubungkan motor

dengan dinamometer pembebanan. Prosentase EGR sebagai variabel bebas yaitu 10%, 20% dan 30% di coba untuk mengetahui apakah sistem siap untuk dilakukan pada tahap eksperimen dan pengambilan data.

3.4 Engine Set up

Pada tahap ini dilakukan proses setting pada motor diesel, komponen EGR dan peralatan-peralatan untuk proses pengujian. Pengaturan ini adalah memasang sensor-sensor yang terdiri *Hardware Vibrasindo TMR-Card Board & TMR-Crankangle-Rotary Encoder* pada motor diesel YANMAR tipe TF 85 MH-di. Kemudian dilakukan proses pengistalan *software/tool* yang bernama *TMR Instrumen* untuk menampilkan hasil proses pembakaran motor di layar computer. Setelah itu, motor dihubungkan pada generator sebagai alat uji performa. Output generator dihubungkan pada lampu dengan variasi pembebanan 0 hingga 5000 watt. *Buret* juga disiapkan sebagai pengukur SFOC pada masing-masing pembebanan yang diterima oleh motor diesel.



Gambar 3.14. Engine test bed and engine set up

Pada *Engine Set Up* dilakukan pengecekan awal mengenai kondisi motor untuk mengetahui kondisi awal motor sebelum

dilakukan penelitian terhadap motor yang dapat digunakan. Motor yang digunakan dalam pengambilan data adalah YANMAR Diesel Engine dengan tipe TF 85 MH-di. Motor ini berkapasitas 493 cc

Dalam tahap ini, diharapkan semua peralatan dan bahan sudah siap sehingga dapat mempermudah dalam proses pengambilan data. Dalam penelitian in, beberapa variabel yang harus disiapkan antara lain :

1. Uji Performa :

- Variabel Tetap : Biosolar
- Variabel Berubah : *EGR Valve*, RPM, Beban, % *EGR*
- Variabel Hasil : Power, Torsi, SFOC, BMEP

2. Uji Emisi dan Proses Pembakaran :

- Variabel Tetap : Biosolar
- Variabel Berubah : *EGR Valve*, RPM dan beban
(Berdasarkan *IMO Marpol annex VI*), % *EGR*
- Variabel Hasil : NO_x , *combustion pressure*, *heat release*

Untuk metode pengetesan pada uji emisi dan proses pembakaran, titik RPM dan beban mengikuti prosedur pada aturan *IMO Marpol Annex VI*. Tipe pengujian yang dipilih adalah *test cycle type E2*, tipe ini dipilih karena motor yang diuji dapat difungsikan sebagai motor penggerak utama kapal. Metode pengujian untuk tipe E2 adalah seperti yang terlihat pada tabel 3.1 berikut:

Tabel 3.3. *MARPOL Annex VI, Appendix II Test Cycle*

| | | | | | |
|--------------------------|--------|------|------|------|------|
| Test Cycle Type E2 | Speed | 100% | 100% | 100% | 100% |
| | Power | 100% | 75% | 50% | 25% |
| | Weight | 0.2 | 0.5 | 0.15 | 0.15 |
| | Factor | | | | |

*)Keterangan:

- Untuk motor diesel kecepatan konstan dan digunakan untuk penggerak utama atau digunakan sebagai diesel electric menggunakan *Test Cycle E2*.

- Untuk *controllable-pitch propeller* menggunakan *Test Cycle E2*.
- Untuk *auxiliary engines* kecepatan konstan menggunakan *Test Cycle D2*.

3.5 Uji Eksperimen

Tahap ini dilakukan setelah semua proses *engine set up* selesai dikerjakan. Pada tahap ini dilakukan pengambilan data dengan variabel *EGR valve* yang berbeda. Jenis *EGR valve* yang dapat dibandingkan adalah jenis *ball valve* dan *angle globe valve*. data yang dapat dibandingkan berupa data performa motor, proses pembakaran dan NO_x . Tujuan dilakukan pengujian yaitu untuk mengetahui antara lain :

1. *Engine Perform* yang didalamnya dapat dilakukan uji prestasi motor yang didalamnya dapat diketahui daya, torsi, SFOC dan BMEP
2. *Combustion proses* yang didalamnya dapat diketahui karakteristik proses pembakaran pada motor diesel. Fokus pengambilan data dalam hal ini hanya ditekankan pada grafik tekanan proses pembakaran dan *heat release rate*.
3. Kadar NO_x yang didalamnya dapat diketahui penurunan jumlah NO_x pada gas buang setelah pemasangan EGR dengan variasi *EGR valve*.

3.6 Pengumpulan Data

Pengumpulan data diperoleh dari hasil eksperimen yang sudah dilakukan, dari tahap pra eksperimen hingga tahap eksperimen. hasil yang diperoleh merupakan data perbandingan performa motor, proses pembakaran dan data kadar NO_x pada penggunaan *EGR valve* jenis *ball valve* dan *angle globe valve*.

3.7 Analisa & Pembahasan

Pada penelitian ini analisa data yang dilakukan adalah perbandingan hasil performa motor, hasil proses pembakaran dan penurunan kadar NO_x motor diesel tanpa menggunakan EGR,

motor diesel menggunakan EGR dengan *EGR valve* jenis *ball valve* dan motor diesel menggunakan EGR dengan *EGR valve* jenis *angle globe valve*.

3.8 Kesimpulan & Saran

Setelah semua yang dilakukan, maka selanjutnya adalah menarik kesimpulan dari analisa data dan percobaan. Diharapkan nantinya hasil kesimpulan dapat menjawab permasalahan yang menjadi tujuan skripsi. Selain itu diperlukan saran berdasarkan hasil penelitian untuk perbaikan tugas akhir supaya lebih sempurna

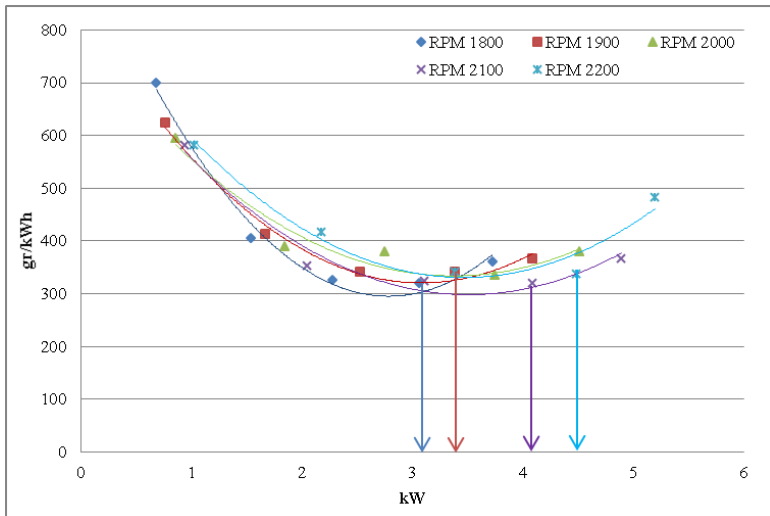
“Halaman Sengaja Dikosongkan”

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Performa Motor Diesel Menggunakan EGR Valve Jenis *Angle Globe Valve* (AGV)

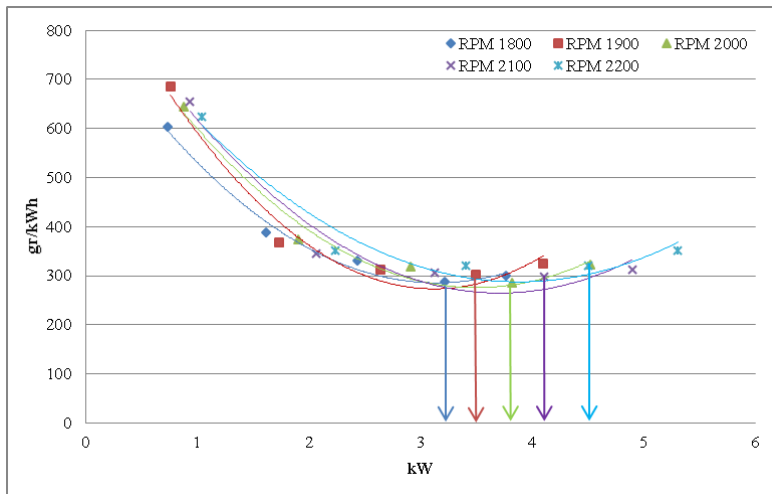
Analisis hasil performa merupakan perbandingan grafik daya, torsi, SFOC dan BMEP dari data performa. Data performa diperoleh melalui proses eksperimen menggunakan motor diesel yang telah dimodifikasi dengan menambahkan sistem EGR dengan variasi prosentase EGR dan variasi EGR *valve*.

Tahap awal dalam membentuk grafik adalah menentukan nilai SFOC terhadap power. Setelah grafik SFOC pada masing-masing RPM terbentuk, titik lembah grafik yang menunjukkan nilai SFOC terendah pada masing-masing RPM dianggap sebagai nilai power moto diesel 100%. Pada penelitian ini variabel RPM ditentukan pada 1800, 1900, 2000, 2100 dan 2200.



Gambar 4.1. Performansi SFOC dengan power pada 0% EGR

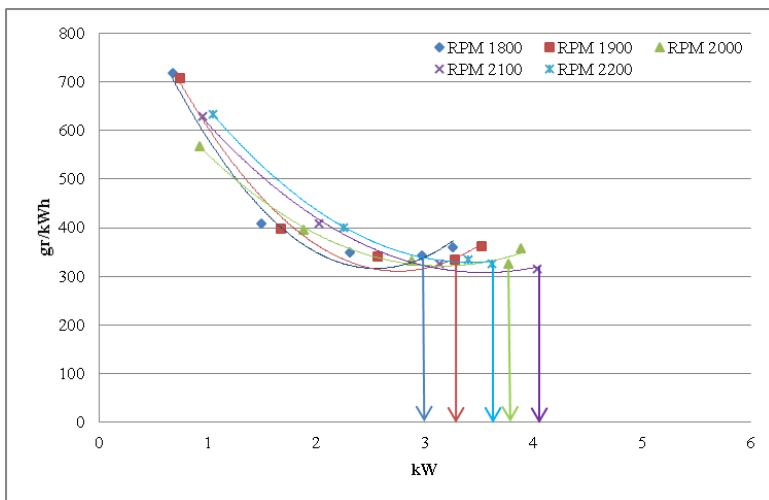
Pada grafik 4.1 menunjukkan lengkung SFOC terhadap power ketika menggunakan 0% EGR pada masing-masing RPM. Titik SFOC terendah pada saat menggunakan 0% EGR berada pada 2100 RPM dengan nilai SFOC sebesar 321,21 gr/kWh. Titik SFOC terendah pada masing-masing RPM yaitu pada 1800 RPM dengan nilai SFOC sebesar 321,18 gr/kWh, 1900 RPM dengan nilai SFOC sebesar 341,03 gr/kWh, 2000 RPM dengan nilai SFOC sebesar 335,10 gr/kWh, 2100 RPM dengan nilai SFOC sebesar 321,21 gr/kWh dan 2200 RPM dengan nilai SFOC sebesar 338,10 gr/kWh. Titik lembah lengkung SFOC pada masing-masing RPM dijadikan nilai untuk membuat grafik 100% power untuk variabel 0%EGR.



Gambar 4.2. Performansi SFOC dengan power pada 10% EGR menggunakan *angle globe valve*

Pada grafik 4.2 menunjukkan lengkung SFOC terhadap power ketika menggunakan 10% EGR dengan menggunakan *angle globe EGR valve* pada masing-masing RPM. Titik SFOC terendah pada saat menggunakan 10% EGR dengan menggunakan *angle globe EGR valve* berada pada 2000 RPM

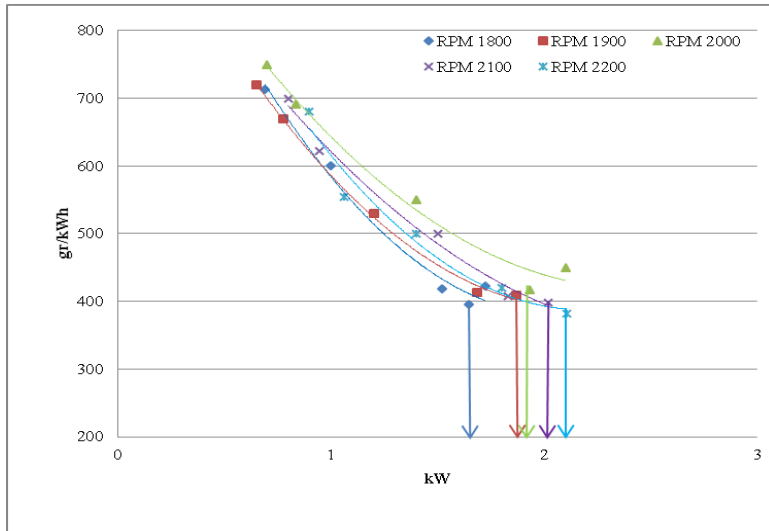
dengan nilai SFOC sebesar 285,92 gr/kWh. Titik SFOC terendah pada masing-masing RPM yaitu pada 1800 RPM dengan nilai SFOC sebesar 288,23 gr/kWh, 1900 RPM dengan nilai SFOC sebesar 301,99 gr/kWh, 2000 RPM dengan nilai SFOC sebesar 285,92 gr/kWh, 2100 RPM dengan nilai SFOC sebesar 297,94 gr/kWh dan 2200 RPM dengan nilai SFOC sebesar 320,69 gr/kWh. Titik lembah lengkung SFOC pada masing-masing RPM dijadikan nilai untuk membuat grafik 100% power untuk variabel 10% EGR dengan menggunakan *angle globe* EGR valve.



Gambar 4.3. Performansi SFOC dengan power pada 20% EGR menggunakan *angle globe* valve

Pada grafik 4.3 menunjukkan lengkung SFOC terhadap power ketika menggunakan 20% EGR dengan menggunakan *angle globe* EGR valve pada masing-masing RPM. Titik SFOC terendah pada saat menggunakan 20% EGR dengan menggunakan *angle globe* EGR valve berada pada 2100 RPM dengan nilai SFOC sebesar 315,69 gr/kWh. Titik SFOC terendah pada masing-masing RPM yaitu pada 1800 RPM dengan nilai SFOC sebesar 343,15 gr/kWh, 1900 RPM dengan nilai SFOC

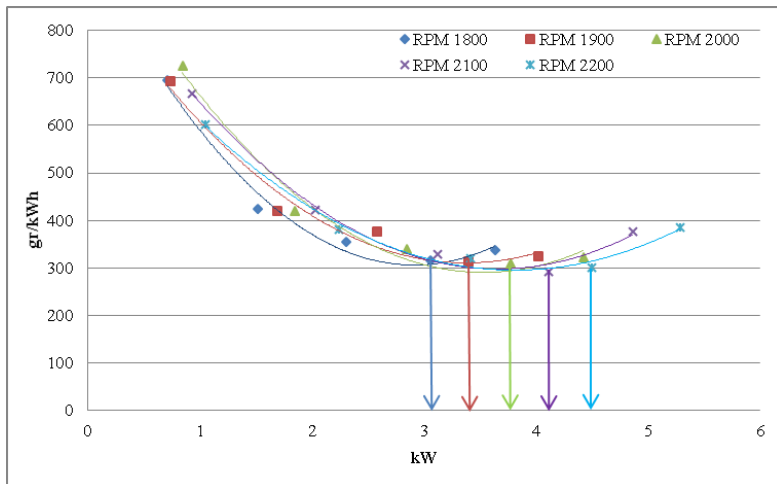
sebesar 333,54 gr/kWh, 2000 RPM dengan nilai SFOC sebesar 325,10 gr/kWh, 2100 RPM dengan nilai SFOC sebesar 315,69 gr/kWh dan 2200 RPM dengan nilai SFOC sebesar 326,55 gr/kWh. Titik lembah lengkung SFOC pada masing-masing RPM dijadikan nilai untuk membuat grafik 100% power untuk variabel 20% EGR dengan menggunakan angle globe EGR valve.



Gambar 4.4. Performansi SFOC dengan power pada 30% EGR menggunakan *angle globe valve*

Pada grafik 4.4 menunjukkan lengkung SFOC terhadap power ketika menggunakan 30% EGR dengan menggunakan angle globe EGR valve pada masing-masing RPM. Pada proses eksperimen menggunakan 30% EGR, hasil performa motor diesel menunjukkan penurunan. Motor diesel tidak mampu memberikan power untuk pembebanan diatas 2300watt, sehingga titi-titik SFOC yang terbentuk hanya sedikit. Analisa terhadap turunnya performa pada saat menggunakan 30% EGR adalah karena massa gas buang yang dimasukkan terlalu banyak. Hal ini menyebabkan nilai air fuel ratio menjadi sangat kaya, karena gas buang bersifat

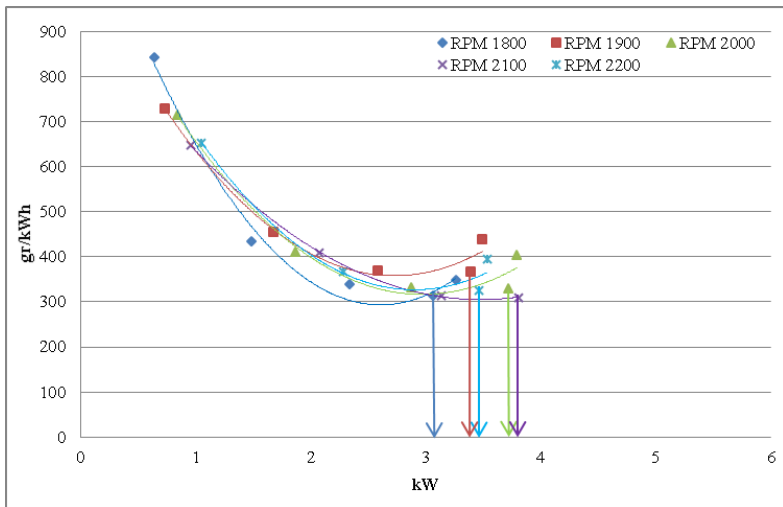
inert sehingga mampu mengikat O_2 yang berada pada ruang bakar. Titik SFOC terendah pada saat menggunakan 30% EGR dengan menggunakan angle globe EGR valve berada pada 2200 RPM dengan nilai SFOC sebesar 382,53 gr/kWh. Titik SFOC terendah pada masing-masing RPM yaitu pada 1800 RPM dengan nilai SFOC sebesar 394,89 gr/kWh, 1900 RPM dengan nilai SFOC sebesar 408,82 gr/kWh, 2000 RPM dengan nilai SFOC sebesar 416,97 gr/kWh, 2100 RPM dengan nilai SFOC sebesar 398,41 gr/kWh dan 2200 RPM dengan nilai SFOC sebesar 382,53 gr/kWh. Titik lembah lengkung SFOC pada masing-masing RPM dijadikan nilai untuk membuat grafik 100% power untuk variabel 30% EGR dengan menggunakan angle globe EGR valve.



Gambar 4.5. Performansi SFOC dengan power pada 10% EGR menggunakan *ball valve*

Pada grafik 4.5 menunjukkan lengkung SFOC terhadap power ketika menggunakan 10% EGR dengan menggunakan ball valve pada masing-masing RPM. Titik SFOC terendah pada saat menggunakan 10% EGR dengan menggunakan ball valve berada pada 2100 RPM dengan nilai SFOC sebesar 291,62 gr/kWh. Titik

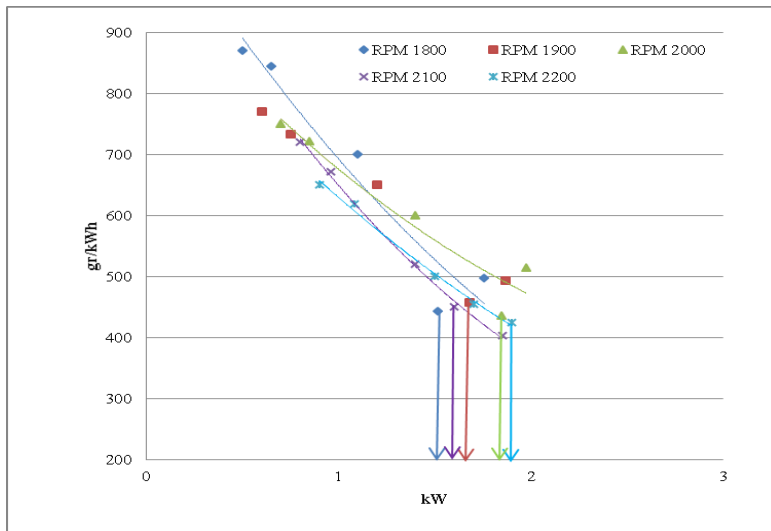
SFOC terendah pada masing-masing RPM yaitu pada 1800 RPM dengan nilai SFOC sebesar 317,05 gr/kWh, 1900 RPM dengan nilai SFOC sebesar 313,82 gr/kWh, 2000 RPM dengan nilai SFOC sebesar 309,60 gr/kWh, 2100 RPM dengan nilai SFOC sebesar 291,62 gr/kWh dan 2200 RPM dengan nilai SFOC sebesar 301,60 gr/kWh. Titik lembah lengkung SFOC pada masing-masing RPM dijadikan nilai untuk membuat grafik 100% power untuk variabel 10% EGR dengan menggunakan ball valve.



Gambar 4.6. Performansi SFOC dengan power pada 20% EGR menggunakan *ball valve*

Pada grafik 4.6 menunjukkan lengkung SFOC terhadap power ketika menggunakan 20% EGR dengan menggunakan ball valve pada masing-masing RPM. Titik SFOC terendah pada saat menggunakan 20% EGR dengan menggunakan ball valve berada pada 2100 RPM dengan nilai SFOC sebesar 309,19 gr/kWh. Titik SFOC terendah pada masing-masing RPM yaitu pada 1800 RPM dengan nilai SFOC sebesar 314,81 gr/kWh, 1900 RPM dengan nilai SFOC sebesar 366,12 gr/kWh, 2000 RPM dengan nilai

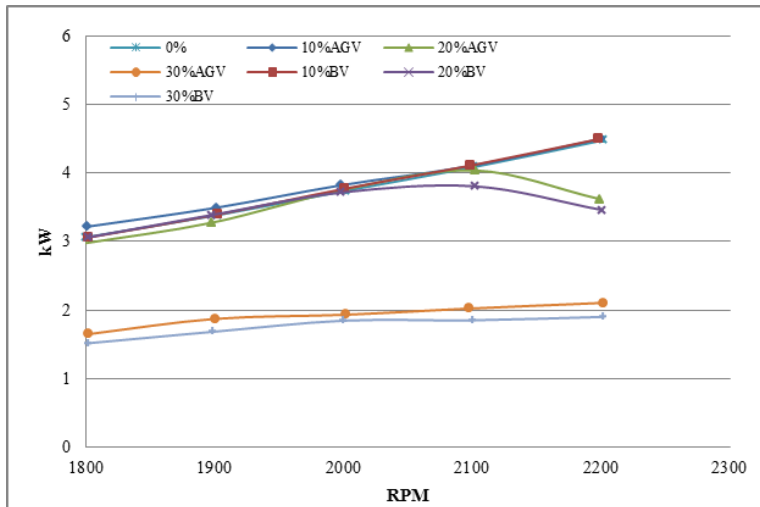
SFOC sebesar 329,39 gr/kWh, 2100 RPM dengan nilai SFOC sebesar 309,19 gr/kWh dan 2200 RPM dengan nilai SFOC sebesar 324,92 gr/kWh. Titik lembah lengkung SFOC pada masing-masing RPM dijadikan nilai untuk membuat grafik 100% power untuk variabel 20% EGR dengan menggunakan ball valve.



Gambar 4.7. Performansi SFOC dengan power pada 30% EGR menggunakan ball valve

Pada grafik 4.7 menunjukkan lengkung SFOC terhadap power ketika menggunakan 30% EGR dengan menggunakan ball valve pada masing-masing RPM. Pada proses eksperimen menggunakan 30% EGR, hasil performa motor diesel menunjukkan penurunan. Motor diesel tidak mampu memberikan power untuk pembebanan diatas 3000watt, sehingga titik-titik SFOC yang terbentuk hanya sedikit. Analisa terhadap turunnya performa pada saat menggunakan 30% EGR adalah karena massa gas buang yang dimasukkan terlalu banyak. Hal ini menyebabkan nilai air fuel ratio menjadi sangat kaya, karena gas buang bersifat inert sehingga mampu mengikat O₂ yang berada pada ruang

bakar. Titik SFOC terendah pada saat menggunakan 30% EGR dengan menggunakan ball valve berada pada 2100 RPM dengan nilai SFOC sebesar 403,52 gr/kWh. Titik SFOC terendah pada masing-masing RPM yaitu pada 1800 RPM dengan nilai SFOC sebesar 442,96 gr/kWh, 1900 RPM dengan nilai SFOC sebesar 458,14 gr/kWh, 2000 RPM dengan nilai SFOC sebesar 435,84 gr/kWh, 2100 RPM dengan nilai SFOC sebesar 403,52 gr/kWh dan 2200 RPM dengan nilai SFOC sebesar 423,96 gr/kWh. Titik lembah lengkung SFOC pada masing-masing RPM dijadikan nilai untuk membuat grafik 100% power untuk variabel 30% EGR dengan menggunakan ball valve.



Gambar 4.8. Performansi Power vs RPM pada variasi %EGR menggunakan *angle globe valve* dan *ball valve*

Gambar 4.8 merupakan grafik perbandingan performansi power terhadap RPM pada prosentase EGR sebesar 0%,10%,20%,30% menggunakan 2 variasi jenis valve. AGV merupakan sistem EGR dengan menggunakan angle globe EGR valve. BV merupakan sistem EGR dengan menggunakan ball

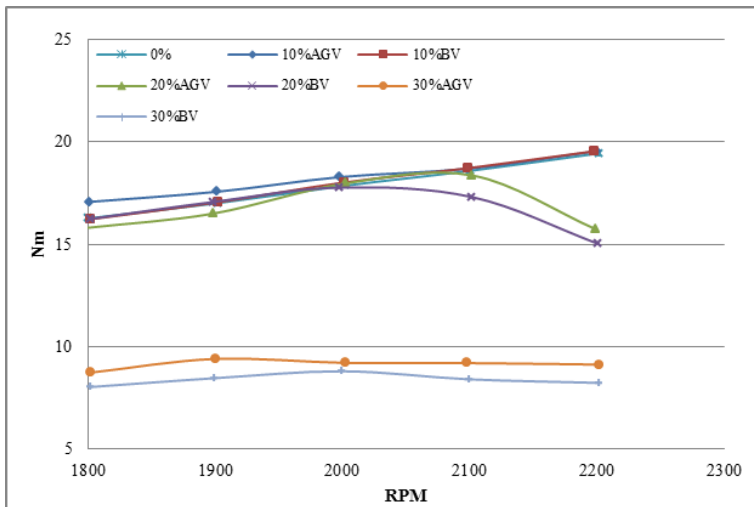
valve. Grafik diatas merupakan nilai dari 100% power. Nilai ini didapat dari titik SFOC paling rendah yang telah dijelaskan pada grafik-grafik sebelumnya.

Pada grafik power diatas, terlihat pada RPM awal saat menggunakan 10%AGV power mengalami peningkatan sekitar 5,02% dibandingkan dengan 0%EGR dan 10%BV. Pada 1800 RPM penggunaan 0%EGR dan 10%BV power maksimal hanya berada pada 3,06 kW sedangkan pada 10%AGV nilai power berada pada 3,22 kW. Namun, pada RPM akhir, nilai power pada 0%EGR, 10%AGV dan 10%BV berada pada titik yang sama. Dari grafik ini dapat dianalisa bahwa pada awal RPM sebaiknya menggunakan sistem EGR AGV dengan prosentase 10% EGR.

Pada saat menggunakan 20%AGV terlihat bahwa terjadi penurunan power sekitar 3% dibandingkan dengan 0%EGR dan 20%BV. Tetapi pada 20%AGV mengalami kenaikan saat berada diatas 1900RPM. Saat 20%AGV, di 2000 RPM power terlihat berada pada titik yang sama dengan 0% dan 20%BV. Namun trend grafik yang diperlihatkan pada 20%BV, nilai power berada dibawah 0% dan 20%AGV. Penggunaan 20%EGR memperlihatkan bahwa peak power berada di 2100 RPM, dan setelah 2100 RPM power mengalami penurunan. Dari grafik diatas, dapat dihitung bahwa penggunaan 20%AGV memiliki power lebih besar sekitar 6,1% dibandingkan dengan 20%BV. Nilai peak power 20%AGV berada pada nilai 4,04 kW sedangkan peak power 20%BV berada pada nilai 3,81 kW.

Pada penggunaan 30%EGR terlihat bahwa power mengalami penurunan drastis. Hal ini disebabkan oleh massa gas buang yang dimasukkan kedalam ruang bakar terlalu banyak. Hal ini dapat mengurangi kinerja O₂ saat proses pembakaran, dan berdampak campuran menjadi sangat kaya. Perlu diketahui bahwa gas buang bersifat inert sehingga mampu mengikat O₂. Namun, dari grafik diatas dapat terlihat bahwa nilai power pada 30%AGV masih lebih baik daripada 30%BV. Dari grafik tersebut dapat dihitung bahwa penggunaan 30%AGV memberikan nilai power lebih tinggi sekitar 10,85% dibanding 30%BV.

Dari keseluruhan analisa, memberikan kesimpulan bahwa penggunaan angle globe EGR valve memberikan nilai yang lebih baik dibandingkan dengan ball valve pada variasi prosentase EGR. sedangkan dampak dari penambahan prosentase EGR diatas 10% dapat mengakibatkan power motor diesel mengalami penurunan. Namum dari hal ini masih perlu ditinjau lagi seberapa besar efek penurunan NOx saat analisa gas buang di tahap selanjutnya.



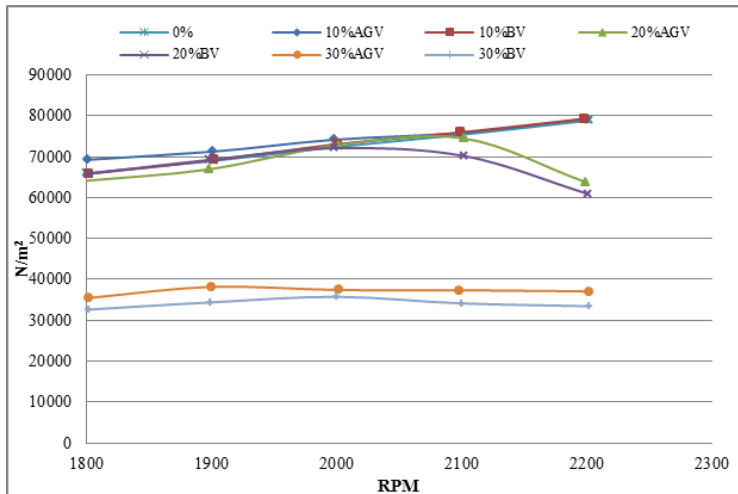
Gambar 4.9. Performansi torsi vs RPM pada variasi %EGR menggunakan *angle globe valve* dan *ball valve*

Gambar 4.9 merupakan grafik perbandingan performansi torsi terhadap RPM pada prosentase EGR sebesar 0%,10%,20%,30% menggunakan 2 variasi jenis valve. AGV merupakan sistem EGR dengan menggunakan angle globe EGR valve. BV merupakan sistem EGR dengan menggunakan ball valve. Berdasarkan grafik diatas, penggunaan 10%AGV mampu meningkatkan torsi motor diesel sekitar 4,9% pada RPM awal.

Sedangkan penggunaan 10%BV memiliki nilai torsi yang sama dengan 0%EGR.

Pada penggunaan 20%EGR perubahan nilai torsi pada RPM awal tidak terlalu signifikan. Namun pada RPM 2100 torsi mengalami penurunan. Pada penggunaan 20%AGV peak torsi berada pada RPM 2100 dengan nilai 18,357 Nm dan pada penggunaan 20%BV peak torsi berada pada RPM 2100 dengan nilai 17,769Nm. Berdasarkan grafik diatas menunjukkan bahwa penggunaan EGR valve jenis angle globe valve memberikan nilai torsi yang lebih baik dibanding pada penggunaan EGR valve jenis ball valve.

Sedangkan pada penggunaan prosentase EGR sebesar 30%, mengakibatkan torsi motor turun drastis sebesar 200% dari kondisi motor tanpa EGR (0%EGR). namun dari grafik memperlihatkan bawa 30%AGV memiliki nilai yang lebih baik daripada 30%BV.



Gambar 4.10. Performansi BMEP vs RPM pada variasi %EGR menggunakan *angle globe valve* dan *ball valve*

Gambar 4.10 merupakan grafik perbandingan performansi BMEP terhadap RPM pada prosentase EGR sebesar 0%,10%,20%,30% menggunakan 2 variasi jenis valve. AGV merupakan sistem EGR dengan menggunakan angle globe EGR valve. BV merupakan sistem EGR dengan menggunakan ball valve. Berdasarkan grafik diatas, penggunaan 10%AGV mampu meningkatkan BMEP sekitar 5,10% pada RPM awal. Sedangkan penggunaan 10%BV memiliki nilai BMEP yang sama dengan 0%EGR.

Pada penggunaan 20%EGR perubahan nilai BMEP pada RPM awal tidak terlalu signifikan. Namun pada RPM 2100 BMEP mengalami penurunan. Pada penggunaan 20%AGV nilai BMEP tertinggi berada pada RPM 2100 dengan nilai 74472 N/m^2 dan pada penggunaan 20%BV peak torsi berada pada RPM 2100 dengan nilai 70189 N/m^2 . Berdasarkan grafik diatas menunjukkan bahwa penggunaan EGR valve jenis angle globe valve memberikan nilai BMEP yang lebih baik dibanding pada penggunaan EGR valve jenis ball valve.

Sedangkan pada penggunaan prosentase EGR sebesar 30%, mengakibatkan BMEP motor turun drastis sekitar 206% dari kondisi motor tanpa EGR (0%EGR). namun dari grafik memperlihatkan bawa 30%AGV memiliki nilai yang lebih baik daripada 30%BV.

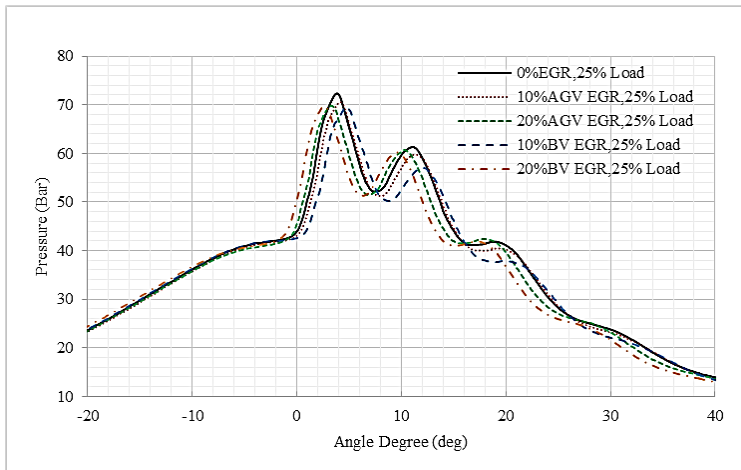
Hasil performa yang telah dilakukan dengan menggunakan variasi prosentase EGR sebesar 0%,10%,20% dan 30% maka dijadikan patokan untuk pengambilan hasil proses pembakaran dan kadar Nox. Dikarenakan hasil motor diesel dengan 30% EGR mengalami penurunan performa yang sangat drastis, maka untuk tahap selanjutnya prosentase EGR sebesar 30% tidak dilanjutkan dan tidak disarankan untuk digunakan.

4.2 Proses Pembakaran Motor Diesel Menggunakan EGR Valve Jenis *Angle Globe Valve* (AGV)

Titik pengambilan hasil proses pembakaran ditentukan berdasarkan aturan IMO MARPOL Annex VI pada bab *test cycle*.

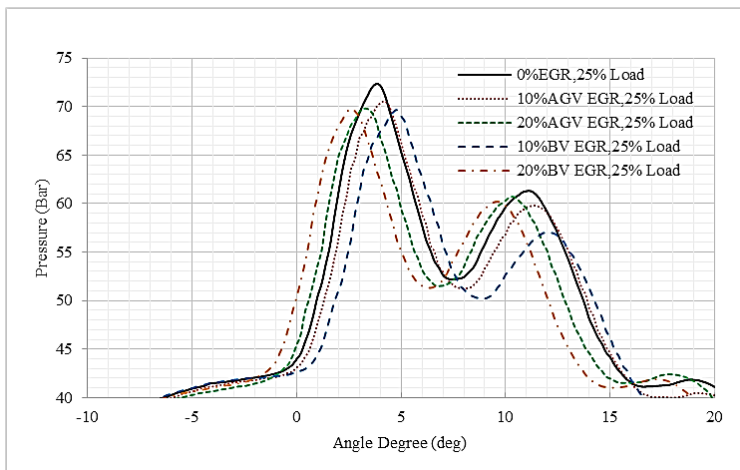
Aturan ini menyatakan bahwa test cyle berada pada titik 100% RPM motor diesel dengan pembebanan sebesar 25%, 50%, 75% dan 100%. Pengambilan data proses pembakaran bedasar test cyle emisi Nox adalah untuk menganalisa seberapa besar pengaruh perubahan proses pembakaran terhadap penurunan kandungan Nox. Dari aturan itu didapat bahwa pada masing-masing variabel posentase EGR terdapat 4 titik pengambilan data. 100% RPM didapat dari hasil eksperimen performa motor diesel yang telah dilakukan dan dianalisa di bab 4.1. Hasil pembebanan 25%, 50%, 75% dan 100% didapat dari pembebanan motor diesel tanpa sistem EGR atau 0% EGR. Dari pembebanan itu dipakai sebagai acuan untuk memberikan pembebanan pada 10% dan 20% EGR.

Proses pembakaran yang dapat dianalisa adalah grafik combustion pressure, rate of heat release dan ignition delay. Hasil proses pembakaran didapat melalui kegiatan eksperimen. Hasil proses pembakaran adalah sebagai berikut :



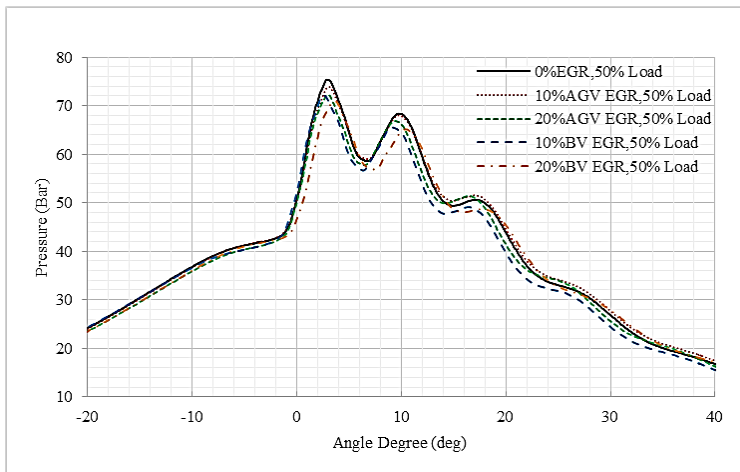
Gambar 4.11. Grafik *combustion pressure* pada 100% RPM dan 25% load

Grafik 4.11 merupakan perbandingan *combustion pressure* pada variasi EGR di titik 100% RPM dengan *load* sebesar 25%. Grafik 4.11 menunjukkan bahwa penggunaan EGR mengakibatkan *peak power* bergeser beberapa derajat ke arah kiri. Selain itu penggunaan EGR juga mengakibatkan penurunan *maximum pressure* pada saat proses pembakaran. Gas buang yang dimasukkan kembali ke ruang bakar melalui sistem EGR dapat meningkatkan konsentrasi gas *inert* di dalam ruang bakar. Dampaknya, O₂ menjadi sulit bereaksi dengan butir-butir bahan bakar yang diinjeksikan saat proses pembakaran. pada grafik 4.11 juga terlihat bahwa saat *control combustion period*, grafik dengan prosentase EGR sebesar 10% baik AGV maupun BV berhimpitan dengan grafik 0% EGR, hal ini menunjukkan bahwa power motor tidak terlalu banyak yang hilang akibat penambahan EGR sebesar 10%. Sedangkan grafik dengan prosentase EGR sebesar 20% berada dibawah grafik 0% EGR, hal ini menunjukkan terdapat kerugian yaitu kehilangan *pressure* yang dapat berakibat berkurangnya *power* motor.



Gambar 4.12. Grafik maximum *combustion pressure* pada 100% RPM dan 25% *load*

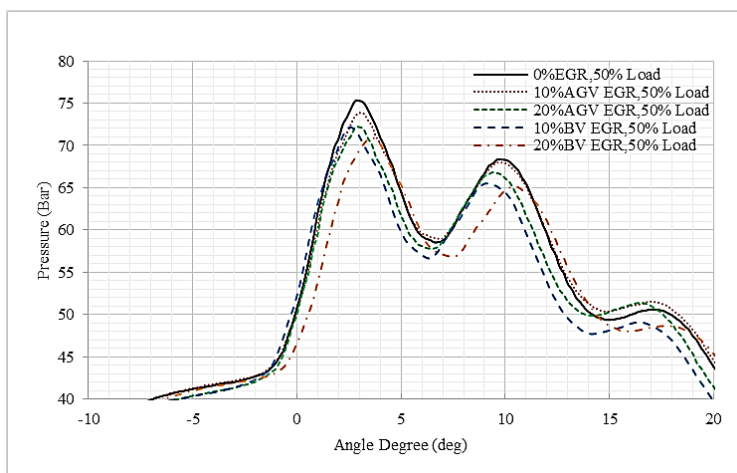
Grafik 4.12 merupakan *zooming* pada *combustion pressure* pada 100% RPM dan 25% *load*. Pendetailan dilakukan untuk mengetahui titik *maximum pressure* pada variasi penggunaan EGR di motor diesel. Pada 0% EGR *peak pressure* terdapat pada 4,2°C_A setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 70,55 Bar. Pada 10% AGV *peak pressure* terdapat pada 3,8°C_A setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 72,32 Bar. Pada 20% AGV *peak pressure* terdapat pada 3,2 °C_A setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 69,79 Bar. Pada 10% BV *peak pressure* terdapat pada 4,8 °C_A setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 69,64 Bar. Pada 20% BV *peak pressure* terdapat pada 2,6 °C_A setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 69,76 Bar.



Gambar 4.13. Grafik *combustion pressure* pada 100% RPM dan 50% *load*

Grafik 4.13 merupakan perbandingan *combustion pressure* pada variasi EGR di titik 100% RPM dengan *load* sebesar 50%. Grafik 4.13 menunjukkan bahwa penggunaan EGR mengakibatkan *peak power* bergeser beberapa derajat ke arah kiri. Saat penggunaan EGR pada beban 50%, terlihat dalam grafik

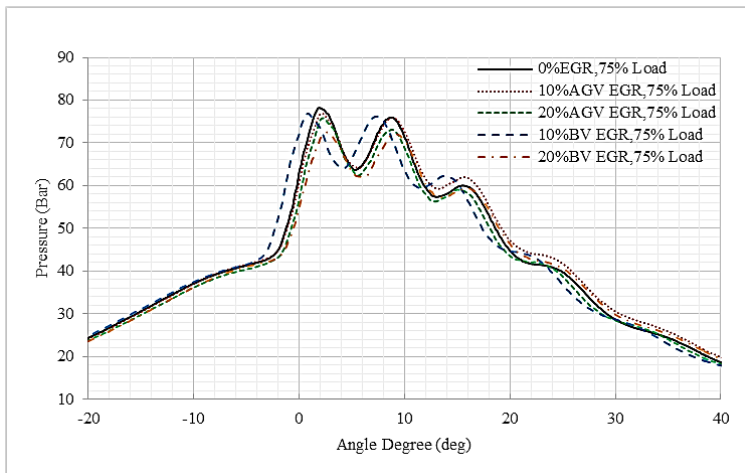
bahwa nilai *peak power* mengalami peningkatan dibandingkan dengan motor diesel yang tanpa menggunakan EGR atau pada saat prosentase EGR 0%. Pada grafik 4.13 juga terlihat bahwa saat *control combustion period*, grafik dengan prosentase EGR sebesar 10% baik AGV berhimpitan dengan grafik 0% EGR, hal ini menunjukkan bahwa power motor tidak terlalu banyak yang hilang akibat penambahan EGR sebesar 10%. Pada saat periode ini menuju ke *after burning period*, grafik 10%AGV terlihat lebih besar dibanding 0% EGR. Sedangkan grafik dengan prosentase EGR sebesar 10%BV, 20%AGV dan 20%BV berada dibawah grafik 0% EGR, hal ini menunjukkan terdapat kerugian yaitu kehilangan *pressure* yang dapat berakibat berkurangnya *power* motor.



Gambar 4.14. Grafik maximum *combustion pressure* pada 100% RPM dan 50% load

Grafik 4.14 diatas merupakan *zooming* pada *combustion pressure* pada 100% RPM dan 50% load. Pendetailan dilakukan untuk mengetahui titik *maximum pressure* pada variasi penggunaan EGR di motor diesel. Pada 0% EGR *peak pressure*

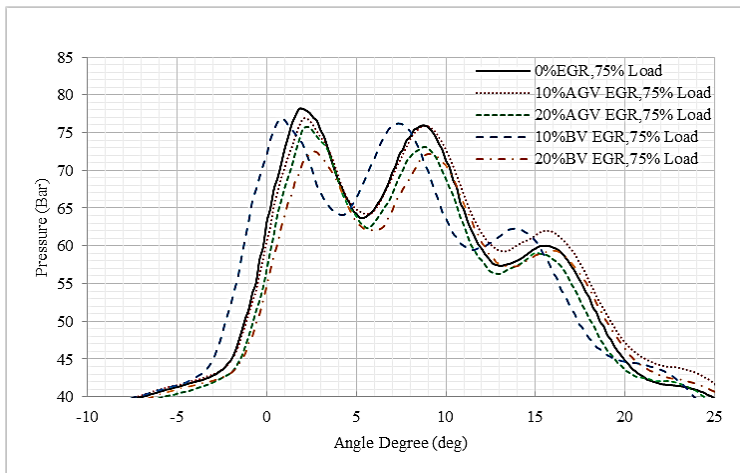
terdapat pada 3,6°C setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 70,9 Bar. Pada 10% AGV *peak pressure* terdapat pada 3°C setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 73,85 Bar. Pada 20% AGV *peak pressure* terdapat pada 3°C setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 71,9 Bar. Pada 10% BV *peak pressure* terdapat pada 3 °C setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 75,27 Bar. Pada 20% BV *peak pressure* terdapat pada 2,6 °C setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 72,14 Bar.



Gambar 4.15. Grafik *combustion pressure* pada 100% RPM dan 75% load

Grafik 4.15 merupakan perbandingan *combustion pressure* pada variasi EGR di titik 100% RPM dengan load sebesar 75%. Grafik 4.11 menunjukkan bahwa penggunaan EGR mengakibatkan *peak power* bergeser beberapa derajat ke arah kiri. Saat penggunaan EGR pada beban 75%, terlihat dalam grafik bahwa nilai *peak power* mengalami peningkatan dibandingkan dengan motor diesel yang tanpa menggunakan EGR atau pada saat prosestase EGR 0%. Pada grafik 4.15 juga terlihat bahwa saat *control combustion period*, grafik dengan prosentase EGR

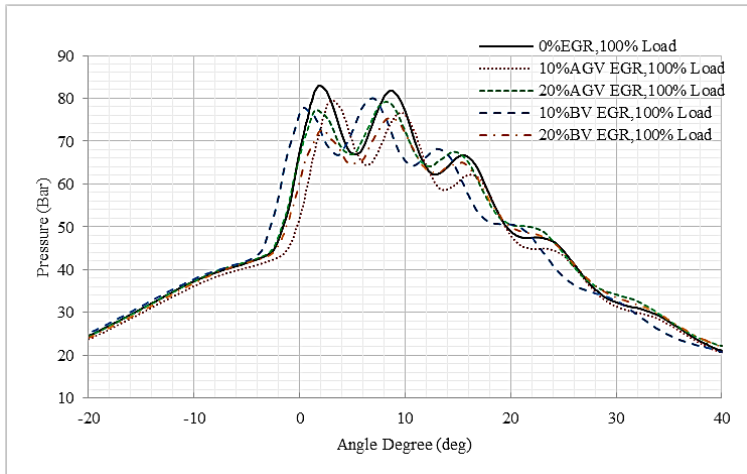
sebesar 10%AGV berada diatas grafik 0%EGR, hal ini menunjukkan bahwa terdapat kenaikan *combustion pressure* saat penggunaan 10%AGV. Hal ini dapat menguntungkan motor diesel, karena kenaikan pressure dapat mengakibatkan power engine menjadi bertambah. Sedangkan grafik dengan prosentase EGR sebesar 10%BV, 20%AGV dan 20%BV berada dibawah grafik 0% EGR, hal ini menunjukkan terdapat kerugian yaitu kehilangan *pressure* yang dapat berakibat berkurangnya *power* motor.



Gambar 4.16. Grafik maximum *combustion pressure* pada 100% RPM dan 75% load

Grafik 4.16 merupakan *zooming* pada *combustion pressure* pada 100% RPM dan 75% load. Pendetailan dilakukan untuk mengetahui titik *maximum pressure* pada variasi penggunaan EGR di motor diesel. Pada 0% EGR *peak pressure* terdapat pada 2,6 °CA setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 72,48 Bar. Pada 10% AGV *peak pressure* terdapat pada 2,2 °CA setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 76,90 Bar. Pada 20% AGV *peak pressure* terdapat pada 2,2 °CA setelah TMA dengan

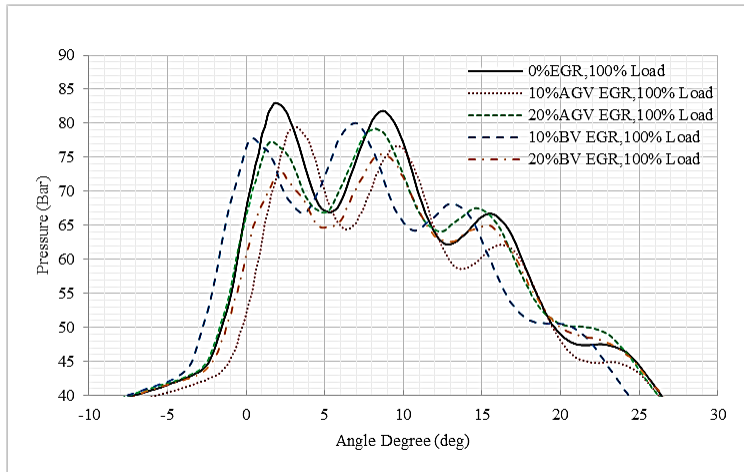
nilai *pressure* sebesar 75,76 Bar. Pada 10% BV *peak pressure* terdapat pada 2 °CA setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 78,16 Bar. Pada 20% BV *peak pressure* terdapat pada 0,8 °CA setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 76,87 Bar.



Gambar 4.17. Grafik *combustion pressure* pada 100% RPM dan 100% load

Grafik 4.17 diatas merupakan perbandingan *combustion pressure* pada variasi EGR di titik 100% RPM dengan *load* sebesar 100%. Grafik 4.17 menunjukkan bahwa penggunaan EGR mengakibatkan *peak power* bergeser beberapa derajat ke arah kiri. Namun pada penggunaan 10%BV, *peak power* bergeser kearah kanan. Saat penggunaan EGR pada beban 100%, terlihat dalam grafik bahwa nilai *peak power* mengalami peningkatan dibandingkan dengan motor diesel yang tanpa menggunakan EGR atau pada saat prosestase EGR 0%. Pada grafik 4.11 juga terlihat bahwa saat *control combustion period*, grafik dengan prosentase EGR sebesar 10% baik AGV maupun BV berhimpitan dengan grafik 0% EGR, hal ini menunjukkan bahwa power motor tidak

terlalu banyak yang hilang akibat penambahan EGR sebesar 10%. Sedangkan grafik dengan prosentase EGR sebesar 20% berada dibawah grafik 0% EGR, hal ini menunjukkan terdapat kerugian yaitu kehilangan *pressure* yang dapat berakibat berkurangnya *power* motor.

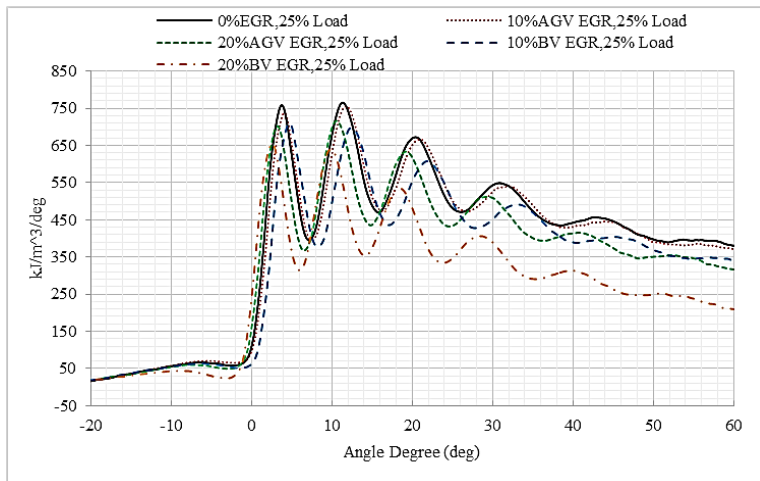


Gambar 4.18. Grafik maximum *combustion pressure* pada 100% RPM dan 100% load

Grafik 4.18 merupakan *zooming* pada *combustion pressure* pada 100% RPM dan 100% load. Pendetailan dilakukan untuk mengetahui titik *maximum pressure* pada variasi penggunaan EGR di motor diesel. Pada 0% EGR *peak pressure* terdapat pada 2,2 °CA setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 75,85 Bar. Pada 10% AGV *peak pressure* terdapat pada 1,6 °CA setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 77,31 Bar. Pada 20% AGV *peak pressure* terdapat pada 3,2 °CA setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 79,48 Bar. Pada 10% BV *peak pressure* terdapat pada 1,6 °CA setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 77,30 Bar. Pada 20% BV *peak pressure* terdapat pada 3,2 °CA setelah TMA dengan nilai *pressure* sebesar 79,48 Bar.

Jika ditarik kesimpulan berdasarkan grafik *combustion pressure* diatas, maka penambahan beban dapat mengakibatkan *peak power* bergerak kearah kiri. Selain itu penggunaan EGR juga mempengaruhi *peak power* motor diesel dan perubahan grafik *pressure* selama *premix combustion period*, *control combustion combustion* dan *after burning period*.

Selain melakukan analisa terhadap *combustion pressure*, analisa lain yang dilakukan didalam *combustion process* adalah analisa terhadap *rate of heat release (ROHR)*. ROHR merupakan rata-rata pelepasan panas dari bahan bakar dan udara selama proses pembakaran. Pada penelitian ini dapat dianalisa dampak penggunaan EGR dan penambahan prosentase EGR terhadap ROHR motor diesel. Grafik *rate of heat release (ROHR)* yang terbentuk selama proses pengambilan data variasi EGR adalah sebagai berikut:



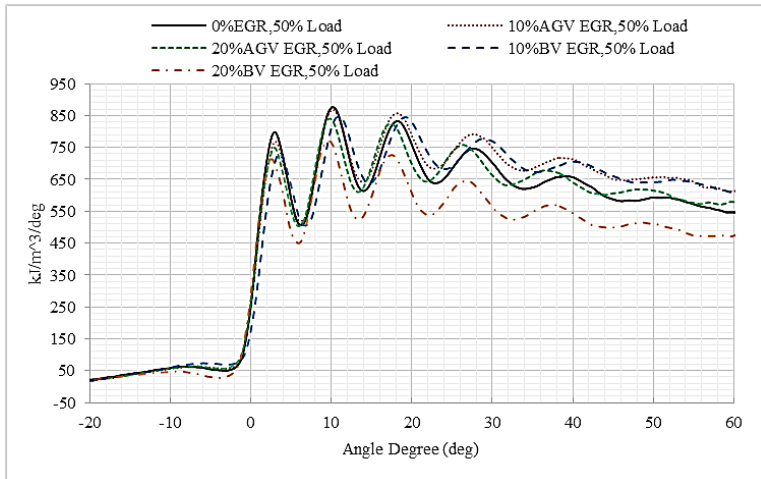
Gambar 4.19. Grafik *rate of heat release (ROHR)* pada 100% RPM dan 25% load

Grafik 4.19 merupakan perbandingan *rate of heat release (ROHR)* pada 100% RPM dan 25% load. Grafik tersebut

menunjukkan perbandingan perubahan proses pelepasan panas atau heat release saat sistem EGR diaplikasikan ke motor diesel. Pada 0% EGR atau kondisi motor tanpa sistem EGR, titik awal heat release antara bahan bakar dan udara terjadi pada $4,4^{\circ}\text{CA}$ sebelum TMA. Pada saat penambahan prosentase EGR sebesar 10% menggunakan AGV awal heat release terjadi pada 5° sebelum TMA. Pada kondisi 10% BV awal heat release terjadi pada $6,4^{\circ}\text{CA}$ sebelum TMA. Pada 20% AGV awal heat release terjadi pada $7,4^{\circ}\text{CA}$ sebelum TMA. Pada 20% BV awal heat release terjadi pada $8,4^{\circ}\text{CA}$ sebelum TMA. Dari hasil tersebut menjelaskan bahwa penggunaan EGR dan pemilihan jenis EGR valve yang berbeda pada kondisi 100% RPM dan 25% *load* dapat mengakibatkan awal heat release semakin bergerak ke arah kiri dari derajat putaran poros engkol. Titik awal proses heat release, juga dapat digunakan untuk menganalisa kapan titik awal dan titik akhir terjadinya proses ignition delay. Dengan demikian, dapat dianalisa seberapa panjang durasi ignition delay pada proses pembakaran.

Sedangkan kondisi peak ROHR pada 0% EGR terjadi pada $11,2^{\circ}\text{CA}$ setelah TMA dengan nilai pelepasan energi sebesar $762,3 \text{ KJ/m}^3/\text{deg}$. Pada 10% AGV, peak ROHR terjadi pada $11,6^{\circ}\text{CA}$ setelah TMA dengan nilai pelepasan energi sebesar $750,4 \text{ KJ/m}^3/\text{deg}$. Pada 10% BV, peak ROHR terjadi pada $11,8^{\circ}\text{CA}$ setelah TMA dengan nilai pelepasan energi sebesar $678 \text{ KJ/m}^3/\text{deg}$. Pada 20% AGV, peak ROHR terjadi pada $10,6^{\circ}\text{CA}$ setelah TMA dengan nilai pelepasan energi sebesar $688,4 \text{ KJ/m}^3/\text{deg}$. Pada 20% BV, peak ROHR terjadi pada 10°CA setelah TMA dengan nilai pelepasan energi sebesar $650,12 \text{ KJ/m}^3/\text{deg}$. Dari grafik tersebut menunjukkan bahwa penambahan EGR sebesar 10% mengakibatkan peak ROHR bergerak beberapa derajat ke arah kanan dari kondisi 0% EGR sedangkan penambahan EGR sebesar 20% mengakibatkan peak ROHR bergerak beberapa derajat ke arah kiri dari kondisi 0%. Selain itu, dari grafik diatas menunjukkan bahwa penambahan EGR mengakibatkan peak ROHR menjadi semakin berkurang.

Penggunaan 20%BV memperlihatkan penurunan ROHR yang cukup signifikan bila dibandingkan dengan penggunaan 10%AGV, 10% BV dan 20%AGV.

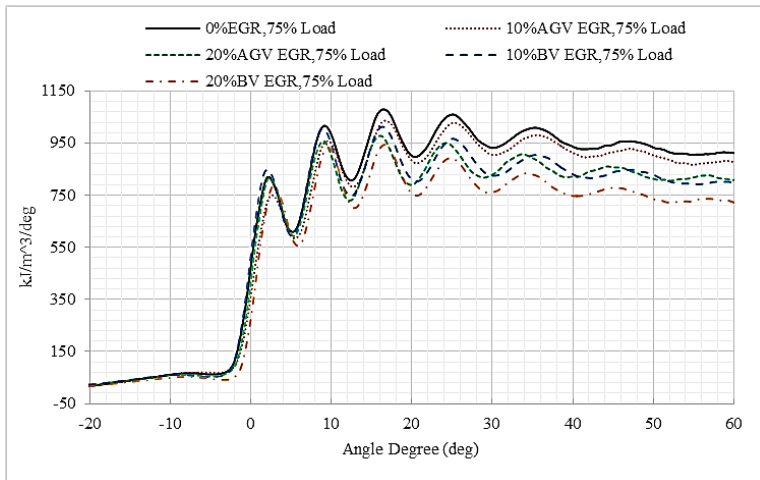


Gambar 4.20. Grafik *rate of heat release* (ROHR) pada 100% RPM dan 50% *load*

Grafik 4.20 merupakan perbandingan *rate of heat release* (ROHR) pada 100% RPM dan 50% *load*. Grafik tersebut menunjukkan perbandingan perubahan proses pelepasan panas atau heat release saat sistem EGR diaplikasikan ke motor diesel. Pada 0% EGR atau kondisi motor tanpa sistem EGR, titik awal heat release antara bahan bakar dan udara terjadi pada 7,4°CA sebelum TMA. Pada saat penambahan prosentase EGR sebesar 10% menggunakan AGV awal heat release terjadi pada 6,4° sebelum TMA. Pada kondisi 10% BV awal heat release terjadi pada 6°CA sebelum TMA. Pada 20% AGV awal heat release terjadi pada 6,2°CA sebelum TMA. Pada 20% BV awal heat release terjadi pada 8°CA sebelum TMA. Dari hasil tersebut menjelaskan bahwa penggunaan EGR dan pemilihan jenis EGR

valve yang berbeda pada kondisi 100%RPM dan 50% *load* dapat mengakibatkan awal heat release semakin bergerak kearah kanan dari derajat putaran poros engkol pada kondisi 10% AGV, 10% BV dan 20% AGV, namun penggunaan 20%BV menunjukkan awal ROHR berada di sebelah kiri dari kondisi 0% EGR.

Sedangkan kondisi peak ROHR pada 0% EGR terjadi pada 10°C setelah TMA dengan nilai pelepasan energi sebesar 874,5 KJ/m³/deg. Pada 10% AGV, peak ROHR terjadi pada 10,2°C setelah TMA dengan nilai pelepasan energi sebesar 870 KJ/m³/deg. Pada 10% BV, peak ROHR terjadi pada 10,6°C setelah TMA dengan nilai pelepasan energi sebesar 843,6 KJ/m³/deg. Pada 20% AGV, peak ROHR terjadi pada 9,6°C setelah TMA dengan nilai pelepasan energi sebesar 844,3 KJ/m³/deg. Pada 20% BV, peak ROHR terjadi pada 9°C setelah TMA dengan nilai pelepasan energi sebesar 658,6 KJ/m³/deg. Dari grafik tersebut menunjukkan bahwa penambahan EGR sebesar 10% mengakibatkan peak ROHR bergerak beberapa derajat kearah kanan dari kondisi 0% EGR sedangkan penambahan EGR sebesar 20% mengakibatkan peak ROHR bergerak beberapa derajat kearah kiri dari kondisi 0%. Selain itu, dari grafik diatas menunjukkan bahwa penambahan EGR mengakibatkan peak ROHR menjadi semakin berkurang. Penggunaan 20%BV memperlihatkan penurunan ROHR yang signifikan dibandingkan dengan penggunaan 10%AGV, 10% BV dan 20%AGV.

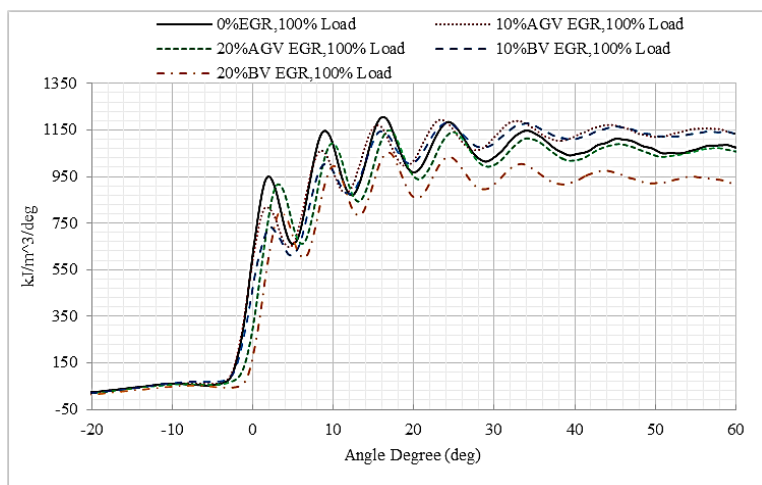


Gambar 4.21. Grafik *rate of heat release (ROHR)* pada 100% RPM dan 75% load

Grafik 4.21 merupakan perbandingan *rate of heat release (ROHR)* pada 100% RPM dan 75% load. Grafik tersebut menunjukkan perbandingan perubahan proses pelepasan panas atau heat release saat sistem EGR diaplikasikan ke motor diesel. Pada 0% EGR atau kondisi motor tanpa sistem EGR, titik awal heat release antara bahan bakar dan udara terjadi pada 6,2°CA sebelum TMA. Pada saat penambahan prosentase EGR sebesar 10% menggunakan AGV awal heat release terjadi pada 6,6°CA sebelum TMA. Pada kondisi 10% BV awal heat release terjadi pada 8,6°CA sebelum TMA. Pada 20% AGV awal heat release terjadi pada 8,6°CA sebelum TMA. Pada 20% BV awal heat release terjadi pada 8,6°CA sebelum TMA. Dari hasil tersebut menjelaskan bahwa penggunaan EGR dan pemilihan jenis EGR valve yang berbeda pada kondisi 100% RPM dan 75% load dapat mengakibatkan awal heat release semakin bergerak ke arah kiri dari derajat putaran poros engkol dari kondisi 0% EGR.

Sedangkan kondisi peak ROHR pada 0% EGR terjadi pada 15,6°CA setelah TMA dengan nilai pelepasan energi sebesar

1053,7 $\text{Kj/m}^3/\text{deg}$. Pada 10% AGV, peak ROHR terjadi pada 15,8°CA setelah TMA dengan nilai pelepasan energi sebesar 1007,4 $\text{Kj/m}^3/\text{deg}$. Pada 10% BV, peak ROHR terjadi pada 16°CA setelah TMA dengan nilai pelepasan energi sebesar 1000,02 $\text{Kj/m}^3/\text{deg}$. Pada 20% AGV, peak ROHR terjadi pada 15,2°CA setelah TMA dengan nilai pelepasan energi sebesar 960,6 $\text{Kj/m}^3/\text{deg}$. Pada 20% BV, peak ROHR terjadi pada 15,2°CA setelah TMA dengan nilai pelepasan energi sebesar 941,6 $\text{Kj/m}^3/\text{deg}$. Dari grafik tersebut menunjukkan bahwa penambahan EGR sebesar 10% mengakibatkan peak ROHR bergerak beberapa derajat kearah kanan dari kondisi 0% EGR sedangkan penambahan EGR sebesar 20% mengakibatkan peak ROHR bergerak beberapa derajat kearah kiri dari kondisi 0%. Selain itu, dari grafik diatas menunjukkan bahwa penambahan EGR mengakibatkan peak ROHR menjadi semakin berkurang.



Gambar 4.22. Grafik *rate of heat release (ROHR)* pada 100% RPM dan 100% *load*

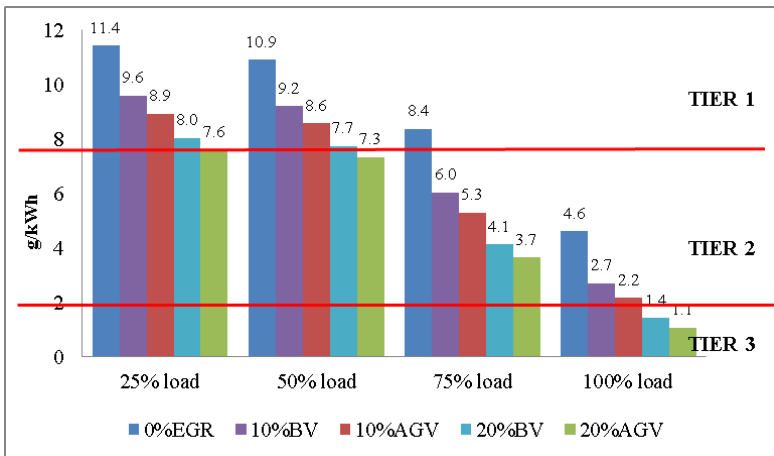
Grafik 4.22 merupakan perbandingan *rate of heat release (ROHR)* pada 100% RPM dan 100% *load*. Grafik tersebut

menunjukkan perbandingan perubahan proses pelepasan panas atau heat release saat sistem EGR diaplikasikan ke motor diesel. Pada 0% EGR atau kondisi motor tanpa sistem EGR, titik awal heat release antara bahan bakar dan udara terjadi pada $9,2^{\circ}\text{CA}$ sebelum TMA. Pada saat penambahan prosentase EGR sebesar 10% menggunakan AGV awal heat release terjadi pada 8° sebelum TMA. Pada kondisi 10% BV awal heat release terjadi pada 7°CA sebelum TMA. Pada 20% AGV awal heat release terjadi pada $7,8^{\circ}\text{CA}$ sebelum TMA. Pada 20% BV awal heat release terjadi pada $6,4^{\circ}\text{CA}$ sebelum TMA. Dari hasil tersebut menjelaskan bahwa penggunaan EGR dan pemilihan jenis EGR valve yang berbeda pada kondisi 100% RPM dan 100% *load* dapat mengakibatkan titik awal heat release semakin bergerak kearah kanan derajat putaran poros engkol dari 0%EGR.

Sedangkan kondisi peak ROHR pada 0% EGR terjadi pada $15,8^{\circ}\text{CA}$ setelah TMA dengan nilai pelepasan energi sebesar $1190,2 \text{ Kj/m}^3/\text{deg}$. Pada 10% AGV, peak ROHR terjadi pada $14,8^{\circ}\text{CA}$ setelah TMA dengan nilai pelepasan energi sebesar $1152,6 \text{ Kj/m}^3/\text{deg}$. Pada 10% BV, peak ROHR terjadi pada 15°CA setelah TMA dengan nilai pelepasan energi sebesar $1150 \text{ Kj/m}^3/\text{deg}$. Pada 20% AGV, peak ROHR terjadi pada $16,2^{\circ}\text{CA}$ setelah TMA dengan nilai pelepasan energi sebesar $1149,8 \text{ Kj/m}^3/\text{deg}$. Pada 20% BV, peak ROHR terjadi pada 17°CA setelah TMA dengan nilai pelepasan energi sebesar $1052,6 \text{ Kj/m}^3/\text{deg}$. Dari grafik tersebut menunjukkan bahwa penambahan EGR sebesar 10% mengakibatkan peak ROHR bergerak beberapa derajat kearah kiri dari kondisi 0% EGR sedangkan penambahan EGR sebesar 20% mengakibatkan peak ROHR bergerak beberapa derajat kearah kanan dari kondisi 0%. Selain itu, dari grafik diatas menunjukkan bahwa penambahan EGR mengakibatkan peak ROHR menjadi semakin berkurang. Penggunaan 20%BV memperlihatkan penurunan ROHR yang cukup signifikan bila dibandingkan dengan penggunaan 10%AGV, 10% BV dan 20%AGV.

4.3 Kandungan NO_x Motor Diesel Dengan EGR Saat Menggunakan *Angle Globe EGR Valve* (AGV)

Hasil proses pembakaran motor diesel yang tidak sempurna mengakibatkan munculnya emisi yang beracun. Salah satu diantara emisi tersebut adalah NO_x . Emisi NO_x terbentuk selama proses pembakaran berlangsung. NO_x dapat terbentuk karena oksigen dan nitrogen bebas bertemu pada kondisi temperatur ruang bakar yang sangat tinggi. *International Maritime Organisation* (IMO) telah mengeluarkan mengenai standar ambang batas emisi NO_x yang diperbolehkan dari emisi gas buang motor diesel. Secara lengkap aturan ini telah dibahas pada MARPOL Annex VI.



Gambar 4.23. Diagram batang kadar NO_x pada kondisi 100%RPM dan beban bervariasi.

Exhaust Gas Recirculation (EGR) merupakan salah satu teknologi yang digunakan untuk mereduksi emisi NO_x . EGR dapat mensirkulasikan kembali gas buang kedalam ruang bakar, sehingga temperatur saat proses pembakaran menjadi berkurang. Pada penelitian ini perlu dilakukan pengujian terhadap kadar NO_x setelah motor diesel dimodifikasi dengan menambahkan sistem

EGR, khususnya dengan aplikasi EGR valve jenis angle globe valve. Hasil emisi NO_x yang diperoleh dari proses eksperimen terhadap motor diesel adalah seperti grafik 4.23

Kadar emisi NO_x yang dihasilkan pada 0%EGR atau kondisi motor diesel standar tanpa sistem EGR mulai dari beban 25%-100% secara berturut-turut adalah 11,4 g/kWh, 10,9 g/kWh, 8,4 g/kWh dan 4,6 g/kWh. Saat kondisi beban 25% dan 50% emisi NO_x tidak masuk dalam kualifikasi TIER 1, sehingga dianggap sangat berbahaya. Saat beban motor berada pada 75%, kadar emisi NO_x masuk dalam kategori standar TIER 1. Sedangkan saat kondisi beban 100% pada 0% EGR masuk dalam kategori TIER 2. Seperti yang telah dijelaskan pada BAB II sebelumnya bahwa kualifikasi TIER 1 adalah emisi NO_x antara 7,7 sampai 9,8 g/kWh pada putaran lebih dari 2000RPM. Kualifikasi TIER 2 adalah emisi NO_x motor diesel antara 1,96 sampai 7,7 g/kWh pada putaran 2000RPM. Kualifikasi TIER 3 adalah emisi NO_x motor diesel yang kurang dari 1,96 g/kWh pada putaran lebih dari 2000RPM.

Kadar emisi NO_x yang dihasilkan pada 10%BV mulai dari beban 25%-100% secara berturut-turut adalah 9,6 g/kWh, 9,2 g/kWh, 6,0 g/kWh dan 2,7 g/kWh. Saat kondisi beban 25% dan 50% emisi NO_x masuk dalam kualifikasi TIER 1. Sedangkan saat beban motor berada pada 75% dan 100%, kadar emisi NO_x masuk dalam kategori standar TIER 2.

Kadar emisi NO_x yang dihasilkan pada 10%AGV mulai dari beban 25%-100% secara berturut-turut adalah 8,9 g/kWh, 8,6 g/kWh, 5,3 g/kWh dan 2,2 g/kWh. Saat kondisi beban 25% dan 50% emisi NO_x masuk dalam kualifikasi TIER 1. Sedangkan saat beban motor berada pada 75% dan 100%, kadar emisi NO_x masuk dalam kategori standar TIER 2.

Kadar emisi NO_x yang dihasilkan pada 20%BV mulai dari beban 25%-100% secara berturut-turut adalah 8,0 g/kWh, 7,7 g/kWh, 4,1 g/kWh dan 1,4 g/kWh. Saat kondisi beban 25%, emisi NO_x masuk dalam kualifikasi TIER 1. Saat beban motor berada pada 50% dan 75%, kadar emisi NO_x masuk dalam kategori

standar TIER 2. Sedangkan saat beban motor berada pada 100%, kadar emisi NO_x berada pada kualifikasi TIER 3.

Kadar emisi NO_x yang dihasilkan pada 20% AGV mulai dari beban 25%-100% secara berturut-turut adalah 7,6 g/kWh, 7,3 g/kWh, 3,7 g/kWh dan 1,1 g/kWh. Saat beban motor berada pada 25%, 50% dan 75%, kadar emisi NO_x masuk dalam kategori standar TIER 2. Sedangkan saat beban motor berada pada 100%, kadar emisi NO_x berada pada kualifikasi TIER 3.

Dari grafik 4.23 menunjukkan bahwa penggunaan EGR sebesar 10% dengan tipe EGR valve adalah angle globe valve mampu mereduksi emisi NO_x sebesar 29,2%. Sedangkan penggunaan EGR sebesar 20% dengan tipe EGR valve adalah angle globe valve mampu mereduksi emisi NO_x sebesar 44,2%. Selain itu, penggunaan angle globe EGR valve (AGV) memiliki fungsi pereduksi NO_x yang lebih baik dibandingkan dengan tipe ball EGR valve (BV). Saat penggunaan prosentase EGR sebesar 10%, AGV memiliki nilai reduksi NO_x 9,1% lebih baik dibandingkan BV. Sedangkan saat penggunaan prosentase EGR sebesar 20%, AGV memiliki nilai reduksi NO_x 7,1% lebih baik dibandingkan BV. Dengan demikian, penggunaan AGV sangat direkomendasikan karena mampu memperbaiki nilai fungsi EGR sebagai alat untuk mereduksi emisi NO_x motor diesel.

4.4 Pembahasan

Bab ini merupakan pembahasan umum dari hasil performa, proses pembakaran dan NO_x yang telah dijelaskan pada sub bab 4.1, 4.2 dan 4.3. Pembahasan merupakan analisa dari grafik yang diperoleh selama langkah eksperimen pada motor diesel menggunakan sistem EGR dengan variasi prosentase EGR (%EGR) dan variasi EGR valve (tipe *angle globe* dan *ball valve*). Analisa berdasarkan hasil eksperimen dapat dibandingkan dengan dasar teori dan hasil-hasil yang sudah ada pada referensi penelitian sebelumnya.

Pada hasil eksperimen telah didapat grafik SFOC seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.1 sampai 4.7. Pada grafik

tersebut menunjukkan bahwa penggunaan EGR sebesar 10% mampu memperbaiki nilai SFOC pada performa motor diesel. Pada penggunaan 10% AGV, nilai SFOC berkurang sekitar 10,3% sedangkan penggunaan 10% BV nilai SFOC berkurang sekitar 9,3% dari nilai SFOC pada 0% EGR. Namun pada grafik 20%EGR dan 30%EGR nilai SFOC menjadi meningkat. Beberapa penelitian sebelumnya menjelaskan bahwa penambahan prosentase EGR pada motor diesel dapat mengakibatkan peningkatan nilai SFOC. Jika di hubungkan dengan hasil eksperimen pada penelitian ini, terdapat batas dimana penambahan prosentase EGR dapat mengakibatkan nilai SFOC meningkat. Seperti yang ditunjukkan pada 10%EGR yang mengakibatkan nilai SFOC menjadi lebih baik dibandingkan motor diesel tanpa EGR. SFOC yang semakin baik pada prosentase EGR dibawah 10% dikarenakan motor diesel yang digunakan masih menggunakan sistem penginjeksian bahan bakar konvensional, sehingga motor tidak mampu mengontrol *air fuel ratio* (AFR) selama proses pembakaran. Dengan demikian penambahan *exhaust gas* pada EGR dapat menyempurnakan AFR hanya pada batas maksimal 10% EGR. Sedangkan kenaikan nilai SFOC pada 20% dan 30%EGR diakibatkan karena gas buang yang bersifat *innert gas* terlalu banyak yang dimasukkan kedalam ruang bakar sehingga mengubah nilai AFR menjadi campuran kaya.

Hasil performa selain nilai SFOC adalah grafik power, torsi dan BMEP pada masing-masing variasi prosentase EGR (%EGR) dan variasi penggunaan EGR valve. Hasil grafik dapat dilihat pada gambar 4.8 sampai 4.10. Pada grafik tersebut secara general menunjukkan bahwa penggunaan 10%EGR tidak menunjukkan perubahan trend grafik secara signifikan, bahkan pada RPM awal terlihat penggunaan 10%EGR mengakibatkan nilai power, torsi dan BMEP menjadi meningkat dibandingkan dengan 0%EGR. Analisa yang muncul dari hasil ini adalah dikarenakan dengan penambahan 10%EGR dapat merubah nilai AFR menuju campuran sempurna sehingga proses pembakaran

menjadi lebih baik. Sedangkan pada 20%EGR menunjukkan bahwa terjadi drop power, torsi dan BMEP setelah 2100RPM. Hal ini sejalan dengan hasil analisa dari penelitian-penelitian sebelumnya dimana penggunaan EGR dapat mengakibatkan penurunan nilai power, torsi dan BMEP.

Selain performa, hasil eksperimen lainnya pada penelitian ini adalah grafik proses pembakaran berupa *combustion pressure* dan *heat release* (ROHR). Grafik proses pembakara ditunjukkan pada gambar 4.11 sampai 4.22. Berdasarkan hasil eksperimen, penambahan prosentase EGR (%EGR) dapat mengakibatkan peak pressure pada saat pembakaran menjadi lebih rendah dibandingkan dengan motor diesel yang tidak menggunakan EGR atau 0%EGR. Hal ini sejalan dengan referensi dan beberapa teori dari penelitian-penelitian sebelumnya yang menerangkan bahwa penambahan EGR dapat mengakibatkan *combustion pressure* menjadi lebih rendah. Perubahan *combustion pressure* ini diakibatkan oleh gas yang disirkulasikan kembali oleh sistem EGR bersifat *innert*, yang mampu menangkap oksigen (O_2). Oksigen merupakan komponen utama pada proses pembakaran, sehingga apabila oksigen terperangkap oleh gas inert maka proses pembakaran menjadi terganggu. Hal inilah yang mengakibatkan *combustion pressure* menjadi turun.

Memasukkan kembali gas buang kedalam ruang bakar yang bersifat *innert gas* dapat merubah proses pelepasan panas selama proses pembakaran. Proses pelepasan panas sering kita kenal dengan istilah *heat release*. *Gas innert* yang berada selama proses pembakaran dapat mengakibatkan *heat release* menjadi menurun. Pada grafik hasil eksperimen menunjukkan bahwa grafik *heat release* pada saat penambahan prosentase EGR (%EGR) mengakibatkan awal pelepasan panas terjadi lebih lambat dibandingkan dengan motor diesel tanpa menggunakan EGR (0%EGR). Selain itu rata-rata pelepasan panas (ROHR) menjadi menurun, hal ini terlihat ketika grafik telah mencapai peak *heat release*. Hal ini sesuai dengan hasil dari penelitian-penelitian terdahulu yang menjelaskan bahwa penambahan prosentase EGR

(%EGR) dapat mengakibatkan penurunan heat release seakan-akan menjadi menurun.

Menurunnya combustion pressure menjadi indikasi bahwa sistem EGR telah bekerja. Secara fungsi, sistem EGR merupakan teknologi produksi NO_x . Metode yang digunakan sistem ini adalah dengan memotong peak combustion pressure sehingga temperatur saat proses pembakaran menjadi menurun. Dengan berkurangnya temperatur proses pembakaran maka pembentukan nitrogen dan oksigen dapat diminimalisir. Hasil emisi NO_x pada eksperimen ini ditunjukkan pada gambar 4.23. pada grafik tersebut terlihat secara signifikan bahwa penggunaan EGR mampu mereduksi kadar NO_x hingga 44,2% pada penggunaan 20% AGV. Hal ini sejalan dengan dasar teori dan referensi dari peneliti-peneliti terdahulu yang menjelaskan bahwa penggunaan EGR mampu mereduksi kadar NO_x .

Dari beberapa eksperimen yang telah dilakukan pada penelitian ini, menunjukkan bahwa penggunaan EGR valve yang baik, dalam hal ini adalah tipe angle globe EGR valve, mampu memperbaiki nilai performa, proses pembakaran dan kadar emisi NO_x dibandingkan dengan tipe EGR valve lainnya. Namun, terdapat beberapa batasan yang perlu diperhatikan saat penggunaan sistem EGR pada motor diesel, yaitu penggunaan EGR hanya dibatasi hingga 20% saja karena massa gas inert yang terlalu banyak dapat mengakibatkan power motor diesel menjadi drop dan dapat merugikan user sebagai pengguna.

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Bedasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, yaitu aplikasi sistem EGR pada motor diesel menggunakan *EGR valve* jenis *angle globe valve*. Dapat ditarik kesimpulan sementara sebagai berikut:

- a. Penggunaan 10%EGR menggunakan *angle globe EGR valve* mengakibatkan SFOC berkurang 35,29gr/kWh atau konsumsi bahan bakar lebih irit 10,3% dibandingkan dengan motor diesel tanpa sistem EGR. Namun, penggunaan 20%EGR dan 30%EGR dapat mengakibatkan SFOC meningkat. Penggunaan 10%EGR menggunakan *angle globe EGR valve* mampu memperbaiki nilai power, torsi dan BMEP pada kondisi 1800-2000 RPM. Namun, terdapat trend menurun pada grafik power, torsi dan BMEP ketika berada pada 2100RPM saat penggunaan sistem EGR dengan prosentase 20% atau lebih.
- b. Penggunaan EGR dapat mengakibatkan *peak combustion pressure* pada saat proses pembakaran menjadi lebih rendah. Selain itu penggunaan EGR mengakibatkan nilai *heat release* menjadi menurun. Hal ini dikarenakan pengaruh gas buang yang disirkulasikan kembali melalui sistem EGR bersifat *innert gas*.
- c. Dengan menggunakan sistem EGR dan memperbaiki komponen *EGR valve* menjadi tipe *angle globe valve*, kadar emisi NO_x yang dihasilkan mampu berkurang hingga 15,6 g/kWh atau tereduksi sebesar 44,2%. Secara garis besar kadar emisi motor diesel yang telah menggunakan EGR mampu diperbaiki hingga masuk pada spesifikasi TIER 2. Sedangkan pada kondisi 20%EGR dengan 100% *load* kadar emisi mampu menembus hingga spesifikasi TIER 3.

5.2 Saran

Dengan dilakukannya penelitian mengenai penggunaan angle globe valve pada sistem EGR pada motor diesel, peneliti memiliki saran agar penelitian dapat lebih bermanfaat dan lebih baik lagi. Saran yang ingin disampaikan adalah sebagai berikut:

- a. Peneliti selanjutnya dapat meneliti sistem EGR dipadukan dengan perubahan *injection timing* dan perubahan *valve open duration* agar dapat meningkatkan nilai performa motor diesel.
- b. Peneliti selanjutnya dapat meneliti sistem EGR dipadukan dengan pemilihan bahan bakar biodiesel agar didapat nilai *heat release* dan kadar emisi yang lebih baik.
- c. Peneliti selanjutnya dapat meneliti sistem EGR dipadukan dengan teknologi pereduksi emisi lain seperti *amonia scrubber*, *air humidifier*, *PDF*, dll agar didapatkan kadar emisi yang lebih baik lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- Darsono D., 2010, "*Simulasi CFD Penggunaan EGR terhadap Performa dan Emisi Gas Buang Motor Diesel*" FT-UI, Indonesia
- Dlukha S., 2012, "*Studi Experimental Penggunaan Venturi Scrubber dan Cyclonic Separator Untuk Meningkatkan Kinerja pada Sistem Exhaust Gas Recirculation (EGR) dalam Menurunkan NO_x pada Motor Diesel*", Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK ITS, Surabaya
- Ge J.C., Min S.K. , Sam K.Y. and Nag J.C., 2015, "*Effects of Pilot Injection Timing and EGR on Combustion, Performance and Exhaust Emissions in a Common Rail Diesel Engine Fueled with a Canola Oil Biodiesel-Diesel Blend*" Division of Mechanical Design Engineering, Chonbuk National University, Korea.
- Hendrajat M., 2011 "*Studi Eksperiment Penggunaan Water Scrubber Untuk Meningkatkan Kinerja Dari Sistem Exhaust Gas Recirculation (EGR) Dalam Mereduksi Nox Pada Motor Diesel*", Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK ITS, Surabaya
- Hussain J, Palaniradja K., Alagumurthi N. And Manimaran, 2013, "*Effect of Exhaust Gas Recirculation (EGR) on Performance and Emission characteristics of a Three Cylinder Direct Injection Compression Ignition Engine*" Mechanical Department Pondicherry Engineering College Puducherry, India
- Jothithirumal B, Jamesgunasekaran E, 2012, "*Combined impact of biodiesel and exhaust gas recirculation on NO_x emissions in DI diesel engines*" *Procedia Eng.* , 38, 1457–1466.
- MARPOL, 1998 "*Annex VI MARPOL 73/78 Regulation for the Prevention of Air Pollution from Ships and NO_x Technical Code*" International Maritime Organization, London

- Salhab Z, 2012, *“Effect of Exhaust Gas Recirculation on the Emission and Performance of Hydrogen Fueled Spark-Ignition Engine”* Global Journals Inc, USA
- Senthilkumar R., Ramadoss K. and Manimaran R., 2013 *“Experimental Investigation of Performance and Emission Characteristics by Different Exhaust Gas Recirculation Methods used in Diesel Engine”* Global Journals Inc, USA
- Sinulingga E.F., 2009, *“Penggunaan Control Valve Pada Sterilizer Dengan FIG 360-104 Untuk Mengontrol Aliran Steam”*, Fakultas Teknik –USU, Sumatera Utara
- PM No 29 pasal 30, 2014 *“Pencegahan Pencemaran Lingkungan Maritim”* Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia, Indonesia
- Umam K., 2009, *“Optimalisasi Rasio Exhaust Recirculation (EGR) Pada Berbagai Pembebanan Motor Diesel Dengan Pemodelan Simulasi”*, Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK ITS, Surabaya

LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Data Performa

Data performa diperoleh melalui proses eksperimen menggunakan motor diesel yang telah dimodifikasi dengan menambahkan sistem EGR. Agar dapat mengetahui nilai dari performa motor diesel, maka diperlukan sebuah generator listrik sebagai alat uji pembebanan terhadap motor diesel tersebut. Untuk mengetahui seberapa besar performa yang dihasilkan oleh sebuah engine, maka diperlukan nilai daya, torsi, SFOC dan BMEP. Agar data dapat diolah menjadi variabel diatas maka terdapat beberapa data yang diperlukan yaitu RPM motor, RPM generator, voltase dan arus yang dihasilkan saat pembebanan, nilai $\cos\theta$ generator, efisiensi generator serta waktu konsumsi bahan bakar untuk volume tertentu. Tabel 4.3 sampai 4.9 dibawah ini merupakan hasil eksperimen performa dengan variasi prosentase EGR yaitu 0%, 10%, 20%, 30% dengan menggunakan 2 jenis EGR *valve* yang berbeda yaitu *angle globe* EGR valve dan *ball valve*.

Tabel Data 0% EGR (motor tanpa sistem EGR)

| RPM | Beban | RPM Engine | RPM Generator | Volt | Arus | Cos Φ | Bahan Bakar | | Power (Kw) | Torsi (Nm) | BMEP (N/m2) | SFOC (gr/kWh) |
|------|-------|---------------|------------------|------|------|----------|-------------|--------|---------------|---------------|----------------|------------------|
| | | | | | | | Volume | t(s) | | | | |
| 1800 | 1000 | 1801 | 1308 | 183 | 3,5 | 0,9 | 10ml | 64,2 | 0,682 | 3,616 | 14668,61 | 699,292 |
| 1800 | 2000 | 1802 | 1310 | 193 | 7,5 | 0,9 | 10ml | 49 | 1,539 | 8,159 | 33099,77 | 405,808 |
| 1800 | 3000 | 1801 | 1299 | 190 | 11,2 | 0,9 | 10ml | 41 | 2,280 | 12,096 | 49072,72 | 327,309 |
| 1800 | 4000 | 1800 | 1296 | 189 | 15,1 | 0,9 | 10ml | 31,1 | 3,063 | 16,260 | 65964,68 | 321,182 |
| 1800 | 5000 | 1800 | 1292 | 185 | 18,7 | 0,9 | 10ml | 22,7 | 3,725 | 19,772 | 80210 | 361,884 |
| 1900 | 1000 | 1902 | 1381 | 198 | 3,6 | 0,9 | 10ml | 64,600 | 0,759 | 3,811 | 15461,5 | 624,312 |
| 1900 | 2000 | 1901 | 1372 | 202 | 7,7 | 0,9 | 10ml | 44,500 | 1,666 | 8,371 | 33959,84 | 412,846 |
| 1900 | 3000 | 1902 | 1370 | 201 | 11,7 | 0,9 | 10ml | 35,500 | 2,523 | 12,675 | 51420,83 | 341,600 |
| 1900 | 4000 | 1902 | 1370 | 201 | 15,7 | 0,9 | 10ml | 26,500 | 3,386 | 17,009 | 69000,6 | 341,026 |
| 1900 | 5000 | 1902 | 1360 | 196 | 19,3 | 0,9 | 10ml | 20,400 | 4,089 | 20,539 | 83320,56 | 366,862 |
| 2000 | 1000 | 2002 | 1449 | 211 | 3,8 | 0,9 | 10ml | 60,1 | 0,856 | 4,086 | 16575,83 | 594,678 |
| 2000 | 2000 | 2000 | 1443 | 215 | 8 | 0,9 | 10ml | 42,6 | 1,842 | 8,802 | 35705,89 | 389,867 |
| 2000 | 3000 | 2000 | 1439 | 213 | 12 | 0,9 | 10ml | 29,3 | 2,746 | 13,116 | 53208,1 | 380,383 |
| 2000 | 4000 | 2002 | 1440 | 215 | 16,2 | 0,9 | 10ml | 24,4 | 3,742 | 17,860 | 72455,05 | 335,099 |
| 2000 | 5000 | 2002 | 1435 | 208 | 20,1 | 0,9 | 10ml | 17,8 | 4,508 | 21,513 | 87274,06 | 381,353 |
| 2100 | 1000 | 2102 | 1527 | 226 | 3,9 | 0,9 | 10ml | 56,1 | 0,938 | 4,262 | 17290,67 | 581,686 |
| 2100 | 2000 | 2100 | 1513 | 230 | 8,3 | 0,9 | 10ml | 42,2 | 2,048 | 9,317 | 37795,9 | 354,095 |
| 2100 | 3000 | 2100 | 1507 | 231 | 12,5 | 0,9 | 10ml | 30,3 | 3,110 | 14,148 | 57396,64 | 324,749 |
| 2100 | 4000 | 2101 | 1506 | 227 | 16,7 | 0,9 | 10ml | 23,3 | 4,087 | 18,587 | 75404,12 | 321,306 |
| 2100 | 5000 | 2102 | 1505 | 220 | 20,6 | 0,9 | 10ml | 17 | 4,892 | 22,236 | 90205,1 | 367,945 |
| 2200 | 1000 | 2201 | 1590 | 239 | 4 | 0,9 | 10ml | 51,4 | 1,023 | 4,440 | 18011,03 | 582,069 |
| 2200 | 2000 | 2201 | 1589 | 239 | 8,5 | 0,9 | 10ml | 33,7 | 2,175 | 9,440 | 38297,52 | 417,518 |
| 2200 | 3000 | 2202 | 1583 | 244 | 12,9 | 0,9 | 10ml | 26,5 | 3,384 | 14,682 | 59562,97 | 341,237 |
| 2200 | 4000 | 2202 | 1581 | 242 | 17,2 | 0,9 | 10ml | 20,2 | 4,481 | 19,440 | 78865,97 | 338,094 |
| 2200 | 5000 | 2200 | 1580 | 230 | 21 | 0,9 | 10ml | 12,2 | 5,198 | 22,573 | 91573,06 | 482,554 |

Tabel 10% EGR menggunakan *Angle Globe EGR Valve*

| RPM | Beban | RPM Engine | RPM Generator | Volt | Arus | Cos Φ | Bahan Bakar | | Power (Kw) | Torsi (Nm) | BMEP (N/m2) | SFOC (gr/kWh) |
|------|-------|---------------|------------------|------|------|----------|-------------|------|---------------|---------------|----------------|------------------|
| | | | | | | | Volume | t(s) | | | | |
| 1800 | 1000 | 1800 | 1302 | 191 | 3,6 | 0,9 | 10ml | 69 | 0,735 | 3,900 | 15819,858 | 603,632 |
| 1800 | 2000 | 1801 | 1300 | 198 | 7,6 | 0,9 | 10ml | 49 | 1,611 | 8,547 | 34674,733 | 387,591 |
| 1800 | 3000 | 1800 | 1295 | 199 | 11,4 | 0,9 | 10ml | 38 | 2,437 | 12,935 | 52476,621 | 330,426 |
| 1800 | 4000 | 1801 | 1289 | 196 | 15,2 | 0,9 | 10ml | 33 | 3,217 | 17,066 | 69234,800 | 288,233 |
| 1800 | 5000 | 1801 | 1285 | 188 | 18,5 | 0,9 | 10ml | 27 | 3,767 | 19,986 | 81078,210 | 300,825 |
| 1900 | 1000 | 1902 | 1376 | 197 | 3,6 | 0,9 | 10ml | 59 | 0,758 | 3,806 | 15439,314 | 684,551 |
| 1900 | 2000 | 1899 | 1369 | 207 | 7,8 | 0,9 | 10ml | 48 | 1,731 | 8,709 | 35329,639 | 368,291 |
| 1900 | 3000 | 1902 | 1366 | 208 | 11,8 | 0,9 | 10ml | 37 | 2,641 | 13,268 | 53823,550 | 313,121 |
| 1900 | 4000 | 1901 | 1362 | 205 | 15,8 | 0,9 | 10ml | 29 | 3,494 | 17,560 | 71237,971 | 301,998 |
| 1900 | 5000 | 1898 | 1353 | 198 | 19,1 | 0,9 | 10ml | 23 | 4,100 | 20,639 | 83729,493 | 324,484 |
| 2000 | 1000 | 2002 | 1445 | 216 | 3,8 | 0,9 | 10ml | 54 | 0,879 | 4,194 | 17015,597 | 644,750 |
| 2000 | 2000 | 2000 | 1444 | 219 | 8,1 | 0,9 | 10ml | 43 | 1,899 | 9,071 | 36799,307 | 374,764 |
| 2000 | 3000 | 2000 | 1437 | 220 | 12,3 | 0,9 | 10ml | 33 | 2,911 | 13,905 | 56409,042 | 318,569 |
| 2000 | 4000 | 1998 | 1429 | 217 | 16,3 | 0,9 | 10ml | 28 | 3,822 | 18,277 | 74146,868 | 285,923 |
| 2000 | 5000 | 2000 | 1421 | 210 | 19,8 | 0,9 | 10ml | 21 | 4,523 | 21,607 | 87653,267 | 322,165 |
| 2100 | 1000 | 2102 | 1519 | 224 | 3,9 | 0,9 | 10ml | 50 | 0,934 | 4,247 | 17227,908 | 655,029 |
| 2100 | 2000 | 2101 | 1519 | 230 | 8,4 | 0,9 | 10ml | 43 | 2,065 | 9,392 | 38100,182 | 344,568 |
| 2100 | 3000 | 2102 | 1513 | 231 | 12,6 | 0,9 | 10ml | 32 | 3,125 | 14,205 | 57626,374 | 305,979 |
| 2100 | 4000 | 2100 | 1500 | 226 | 16,8 | 0,9 | 10ml | 25 | 4,108 | 18,691 | 75823,558 | 297,943 |
| 2100 | 5000 | 2102 | 1489 | 220 | 20,4 | 0,9 | 10ml | 20 | 4,897 | 22,256 | 90289,209 | 312,462 |
| 2200 | 1000 | 2202 | 1591 | 238 | 4,1 | 0,9 | 10ml | 47 | 1,044 | 4,529 | 18372,503 | 623,753 |
| 2200 | 2000 | 2202 | 1586 | 242 | 8,6 | 0,9 | 10ml | 39 | 2,233 | 9,690 | 39308,669 | 351,339 |
| 2200 | 3000 | 2201 | 1579 | 243 | 13 | 0,9 | 10ml | 28 | 3,403 | 14,773 | 59930,127 | 321,124 |
| 2200 | 4000 | 2200 | 1571 | 239 | 17,4 | 0,9 | 10ml | 21,2 | 4,501 | 19,546 | 79295,522 | 320,693 |
| 2200 | 5000 | 2202 | 1557 | 231 | 21 | 0,9 | 10ml | 16,4 | 5,302 | 23,006 | 93329,806 | 351,896 |

Tabel 20%EGR menggunakan *Angle Globe EGR Valve*

| RPM | Beban | RPM Engine | RPM Genrator | Volt | Arus | Cos Φ | Bahan Bakar | | Power (Kw) | Torsi (Nm) | BMEP (N/m2) | SFOC (gr/kWh) |
|------|-------|------------|--------------|------|------|-------|-------------|-------|------------|------------|-------------|---------------|
| | | | | | | | Volume | t(s) | | | | |
| 1800 | 1000 | 1799 | 1302 | 181 | 3,5 | 0,9 | 10ml | 63 | 0,677 | 3,593 | 14575,16 | 717,978 |
| 1800 | 2000 | 1799 | 1297 | 189 | 7,4 | 0,9 | 10ml | 50 | 1,499 | 7,962 | 32302,136 | 408,191 |
| 1800 | 3000 | 1802 | 1294 | 190 | 11,3 | 0,9 | 10ml | 38 | 2,311 | 12,252 | 49702,183 | 348,484 |
| 1800 | 4000 | 1798 | 1292 | 188 | 14,7 | 0,9 | 10ml | 30 | 2,972 | 15,795 | 64075,259 | 343,159 |
| 1800 | 4400 | 1798 | 1285 | 185 | 16,3 | 0,9 | 10ml | 26 | 3,261 | 17,328 | 70296,533 | 360,910 |
| 1900 | 1000 | 1900 | 1374 | 194 | 3,6 | 0,9 | 10ml | 58 | 0,746 | 3,753 | 15226,329 | 706,837 |
| 1900 | 2000 | 1902 | 1374 | 203 | 7,7 | 0,9 | 10ml | 46 | 1,672 | 8,400 | 34078,285 | 397,786 |
| 1900 | 3000 | 1899 | 1365 | 204 | 11,7 | 0,9 | 10ml | 35 | 2,566 | 12,912 | 52379,467 | 340,676 |
| 1900 | 4000 | 1898 | 1361 | 200 | 15,2 | 0,9 | 10ml | 28 | 3,277 | 16,493 | 66910,328 | 333,541 |
| 1900 | 4200 | 1899 | 1357 | 200 | 16,3 | 0,9 | 10ml | 24 | 3,526 | 17,739 | 71964,026 | 361,613 |
| 2000 | 1000 | 2000 | 1447 | 235 | 3,7 | 0,9 | 10ml | 58 | 0,929 | 4,437 | 18000,259 | 568,014 |
| 2000 | 2000 | 1999 | 1439 | 219 | 8 | 0,9 | 10ml | 41 | 1,881 | 8,990 | 36471,28 | 396,779 |
| 2000 | 3000 | 2002 | 1439 | 221 | 12,1 | 0,9 | 10ml | 32 | 2,875 | 13,722 | 55666,581 | 332,573 |
| 2000 | 4000 | 2002 | 1435 | 221 | 15,8 | 0,9 | 10ml | 25 | 3,765 | 17,968 | 72891,21 | 325,100 |
| 2000 | 4200 | 2002 | 1435 | 213 | 16,9 | 0,9 | 10ml | 22 | 3,881 | 18,523 | 75143,619 | 358,358 |
| 2100 | 1000 | 2099 | 1516 | 229 | 3,9 | 0,9 | 10ml | 51 | 0,956 | 4,350 | 17647,313 | 627,820 |
| 2100 | 2000 | 2098 | 1515 | 231 | 8,2 | 0,9 | 10ml | 37 | 2,027 | 9,232 | 37453,37 | 407,942 |
| 2100 | 3000 | 2102 | 1510 | 233 | 12,5 | 0,9 | 10ml | 30 | 3,133 | 14,242 | 57778,556 | 325,518 |
| 2100 | 4000 | 2102 | 1508 | 230 | 16,3 | 0,9 | 10ml | 24 | 4,039 | 18,357 | 74471,791 | 315,690 |
| 2200 | 1000 | 2199 | 1592 | 246 | 4 | 0,9 | 10ml | 46 | 1,050 | 4,564 | 18515,257 | 633,262 |
| 2200 | 2000 | 2200 | 1587 | 247 | 8,5 | 0,9 | 10ml | 34 | 2,249 | 9,769 | 39629,323 | 400,109 |
| 2200 | 3000 | 2199 | 1580 | 245 | 12,9 | 0,9 | 10ml | 26,83 | 3,400 | 14,770 | 59920,635 | 335,486 |
| 2200 | 3200 | 2199 | 1574 | 243 | 13,8 | 0,9 | 10ml | 25,88 | 3,621 | 15,732 | 63820,225 | 326,549 |

Tabel 30% EGR menggunakan *Angle Globe EGR Valve*

| RPM | Beban | RPM Engine | RPM Generator | Volt | Arus | Cos Φ | Bahan Bakar | | Power (Kw) | Torsi (Nm) | BMEP (N/m2) | SFOC (gr/kWh) |
|------|-------|------------|---------------|------|------|------------|-------------|------|------------|------------|-------------|---------------|
| | | | | | | | Volume | t(s) | | | | |
| 1800 | 1000 | 1800 | 1302 | 185 | 3,5 | 0,9 | 10ml | 62 | 0,692 | 3,672 | 14897,263 | 713,387 |
| 1800 | 2000 | 1798 | 1298 | 192 | 7,4 | 0,9 | 10ml | 48 | 1,521 | 8,083 | 32789,588 | 419,111 |
| 1800 | 2200 | 1802 | 1300 | 190 | 8,1 | 0,9 | 10ml | 47 | 1,649 | 8,742 | 35462,795 | 394,885 |
| 1800 | 2300 | 1802 | 1298 | 189 | 8,5 | 0,9 | 10ml | 42 | 1,724 | 9,139 | 37075,22 | 422,677 |
| 1900 | 1000 | 1902 | 1376 | 196 | 3,7 | 0,9 | 10ml | 59 | 0,775 | 3,892 | 15787,634 | 669,448 |
| 1900 | 2000 | 1902 | 1371 | 204 | 7,7 | 0,9 | 10ml | 44 | 1,684 | 8,460 | 34321,095 | 412,926 |
| 1900 | 2200 | 1900 | 1370 | 203 | 8,6 | 0,9 | 10ml | 40 | 1,871 | 9,410 | 38172,589 | 408,819 |
| 2000 | 1000 | 1999 | 1444 | 211 | 3,7 | 0,9 | 10ml | 53 | 0,835 | 3,992 | 16195,512 | 691,214 |
| 2000 | 2000 | 2002 | 1443 | 217 | 8,3 | 0,9 | 10ml | 38 | 1,931 | 9,217 | 37389,46 | 416,965 |
| 2100 | 1000 | 2098 | 1516 | 227 | 3,9 | 0,9 | 10ml | 52 | 0,947 | 4,312 | 17493,188 | 621,467 |
| 2100 | 1800 | 2102 | 1518 | 231 | 7,4 | 0,9 | 10ml | 41 | 1,829 | 8,315 | 33732,585 | 407,972 |
| 2100 | 2000 | 2098 | 1513 | 230 | 8,2 | 0,9 | 10ml | 38 | 2,021 | 9,204 | 37340,528 | 398,407 |
| 2200 | 1000 | 2198 | 1580 | 241 | 4,1 | 0,9 | 10ml | 52 | 1,062 | 4,618 | 18733,612 | 553,916 |
| 2200 | 1800 | 2202 | 1591 | 246 | 8 | 0,9 | 10ml | 38 | 2,105 | 9,134 | 37053,788 | 382,527 |

Tabel 10% EGR menggunakan *Ball Valve*

| RPM | Beban | RPM Engine | RPM Generator | Volt | Arus | Cos Φ | Bahan Bakar | | Power (Kw) | Torsi (Nm) | BMEP (N/m2) | SFOC (gr/kWh) |
|------|-------|------------|---------------|------|------|-------|-------------|-------|------------|------------|-------------|---------------|
| | | | | | | | Volume | t(s) | | | | |
| 1800 | 1000 | 1798 | 1301 | 190 | 3,5 | 0,9 | 10ml | 62 | 0,710 | 3,774 | 15311,652 | 694,853 |
| 1800 | 2000 | 1798 | 1303 | 190 | 7,5 | 0,9 | 10ml | 47,46 | 1,520 | 8,075 | 32760,321 | 424,258 |
| 1800 | 3000 | 1799 | 1293 | 190 | 11,3 | 0,9 | 10ml | 37,34 | 2,309 | 12,261 | 49740,623 | 354,960 |
| 1800 | 4000 | 1802 | 1292 | 188 | 15,1 | 0,9 | 10ml | 31,54 | 3,060 | 16,224 | 65818,803 | 317,051 |
| 1800 | 5000 | 1801 | 1283 | 182 | 18,4 | 0,9 | 10ml | 25 | 3,633 | 19,273 | 78188,027 | 336,901 |
| 1900 | 1000 | 1902 | 1369 | 190 | 3,6 | 0,9 | 10ml | 60,18 | 0,734 | 3,689 | 14966,848 | 692,314 |
| 1900 | 2000 | 1902 | 1371 | 202 | 7,8 | 0,9 | 10ml | 43,12 | 1,689 | 8,486 | 34425,972 | 420,069 |
| 1900 | 3000 | 1902 | 1366 | 203 | 11,8 | 0,9 | 10ml | 31,58 | 2,578 | 12,949 | 52529,715 | 375,897 |
| 1900 | 4000 | 1902 | 1360 | 200 | 15,7 | 0,9 | 10ml | 28,73 | 3,394 | 17,048 | 69162,143 | 313,821 |
| 1900 | 5000 | 1899 | 1352 | 195 | 19 | 0,9 | 10ml | 23,45 | 4,022 | 20,235 | 82089,804 | 324,443 |
| 2000 | 1000 | 2001 | 1446 | 208 | 3,8 | 0,9 | 10ml | 49,95 | 0,845 | 4,036 | 16374,059 | 724,698 |
| 2000 | 2000 | 2002 | 1435 | 214 | 8 | 0,9 | 10ml | 39,57 | 1,846 | 8,809 | 35737,944 | 418,925 |
| 2000 | 3000 | 1999 | 1437 | 217 | 12,2 | 0,9 | 10ml | 31,73 | 2,846 | 13,604 | 55187,471 | 338,823 |
| 2000 | 4000 | 2001 | 1430 | 214 | 16,3 | 0,9 | 10ml | 26,2 | 3,772 | 18,012 | 73070,662 | 309,603 |
| 2000 | 5000 | 1998 | 1417 | 207 | 19,6 | 0,9 | 10ml | 21,45 | 4,421 | 21,142 | 85769,774 | 322,655 |
| 2100 | 1000 | 2102 | 1519 | 224 | 3,9 | 0,9 | 10ml | 49,07 | 0,934 | 4,247 | 17227,908 | 667,444 |
| 2100 | 2000 | 2099 | 1512 | 228 | 8,3 | 0,9 | 10ml | 35,73 | 2,030 | 9,242 | 37492,021 | 421,805 |
| 2100 | 3000 | 2100 | 1508 | 230 | 12,6 | 0,9 | 10ml | 29,84 | 3,119 | 14,190 | 57567,151 | 328,778 |
| 2100 | 4000 | 2099 | 1498 | 226 | 16,8 | 0,9 | 10ml | 25,52 | 4,112 | 18,715 | 75924,791 | 291,621 |
| 2100 | 5000 | 2099 | 1484 | 219 | 20,3 | 0,9 | 10ml | 16,74 | 4,860 | 22,121 | 89739,563 | 376,135 |
| 2200 | 1000 | 2198 | 1588 | 239 | 4,1 | 0,9 | 10ml | 48,5 | 1,048 | 4,556 | 18484,553 | 601,891 |
| 2200 | 2000 | 2198 | 1582 | 243 | 8,6 | 0,9 | 10ml | 35,87 | 2,244 | 9,754 | 39570,902 | 380,155 |
| 2200 | 3000 | 2200 | 1578 | 244 | 13 | 0,9 | 10ml | 27,99 | 3,418 | 14,843 | 60214,888 | 319,865 |
| 2200 | 4000 | 2198 | 1569 | 240 | 17,3 | 0,9 | 10ml | 22,57 | 4,495 | 19,540 | 79270,592 | 301,595 |
| 2200 | 5000 | 2200 | 1560 | 232 | 20,9 | 0,9 | 10ml | 15 | 5,285 | 22,951 | 93108,08 | 386,007 |

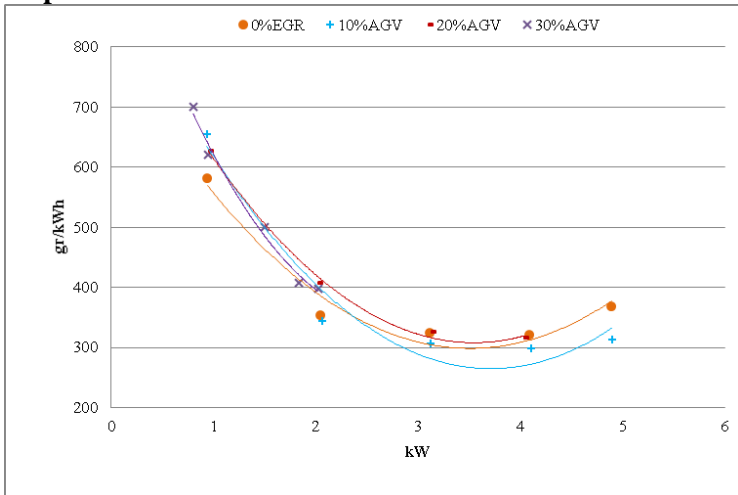
Tabel 20% EGR menggunakan *Ball Valve*

| RPM | Beban | RPM Engine | RPM Generator | Volt | Arus | Cos Φ | Bahan Bakar | | Power (Kw) | Torsi (Nm) | BMEP (N/m2) | SFOC (gr/kWh) |
|------|-------|------------|---------------|------|------|------------|-------------|-------|------------|------------|-------------|---------------|
| | | | | | | | Volume | t(s) | | | | |
| 1800 | 1000 | 1799 | 1300 | 175 | 3,4 | 0,9 | 10ml | 57,13 | 0,636 | 3,380 | 13710,437 | 841,685 |
| 1800 | 2000 | 1798 | 1296 | 187 | 7,4 | 0,9 | 10ml | 47,57 | 1,484 | 7,884 | 31984,976 | 433,538 |
| 1800 | 3000 | 1802 | 1298 | 191 | 11,4 | 0,9 | 10ml | 38,68 | 2,336 | 12,387 | 50250,597 | 338,621 |
| 1800 | 4000 | 1802 | 1291 | 188 | 15,1 | 0,9 | 10ml | 31,74 | 3,062 | 16,237 | 65869,786 | 314,810 |
| 1800 | 4400 | 1798 | 1285 | 185 | 16,3 | 0,9 | 10ml | 27 | 3,261 | 17,328 | 70296,533 | 347,543 |
| 1900 | 1000 | 1902 | 1373 | 190 | 3,6 | 0,9 | 10ml | 57,37 | 0,732 | 3,679 | 14923,245 | 728,346 |
| 1900 | 2000 | 1901 | 1372 | 201 | 7,8 | 0,9 | 10ml | 40,06 | 1,679 | 8,438 | 34230,579 | 454,976 |
| 1900 | 3000 | 1902 | 1370 | 204 | 11,8 | 0,9 | 10ml | 32 | 2,583 | 12,974 | 52634,355 | 370,225 |
| 1900 | 4000 | 1898 | 1359 | 200 | 15,7 | 0,9 | 10ml | 24,66 | 3,389 | 17,061 | 69213,035 | 366,116 |
| 1900 | 4200 | 1899 | 1357 | 198 | 16,3 | 0,9 | 10ml | 20 | 3,491 | 17,562 | 71244,386 | 438,319 |
| 2000 | 1000 | 2000 | 1445 | 207 | 3,8 | 0,9 | 10ml | 50,81 | 0,841 | 4,020 | 16306,614 | 715,736 |
| 2000 | 2000 | 2000 | 1440 | 215 | 8,1 | 0,9 | 10ml | 39,74 | 1,869 | 8,930 | 36227,527 | 411,907 |
| 2000 | 3000 | 2000 | 1438 | 217 | 12,3 | 0,9 | 10ml | 32,06 | 2,869 | 13,706 | 55601,135 | 332,674 |
| 2000 | 4000 | 1998 | 1405 | 210 | 16,1 | 0,9 | 10ml | 25 | 3,716 | 17,769 | 72085,273 | 329,393 |
| 2000 | 4200 | 2002 | 1435 | 208 | 16,9 | 0,9 | 10ml | 20 | 3,790 | 18,088 | 73379,684 | 403,670 |
| 2100 | 1000 | 2098 | 1515 | 224 | 4 | 0,9 | 10ml | 49,31 | 0,959 | 4,367 | 17716,302 | 647,117 |
| 2100 | 2000 | 2098 | 1512 | 230 | 8,4 | 0,9 | 10ml | 36,13 | 2,072 | 9,435 | 38276,572 | 408,780 |
| 2100 | 3000 | 2098 | 1506 | 231 | 12,6 | 0,9 | 10ml | 31 | 3,134 | 14,271 | 57894,226 | 314,988 |
| 2100 | 4000 | 2102 | 1508 | 234 | 15,1 | 0,9 | 10ml | 26 | 3,807 | 17,302 | 70189,017 | 309,187 |
| 2200 | 1000 | 2202 | 1591 | 240 | 4,1 | 0,9 | 10ml | 44,57 | 1,053 | 4,567 | 18526,894 | 652,279 |
| 2200 | 2000 | 2199 | 1585 | 245 | 8,7 | 0,9 | 10ml | 36,52 | 2,286 | 9,930 | 40284,11 | 366,612 |
| 2200 | 3000 | 2201 | 1578 | 245 | 13,1 | 0,9 | 10ml | 27,22 | 3,460 | 15,018 | 60926,76 | 324,923 |
| 2200 | 3200 | 2199 | 1574 | 244 | 13,4 | 0,9 | 10ml | 22 | 3,530 | 15,339 | 62225,386 | 393,986 |

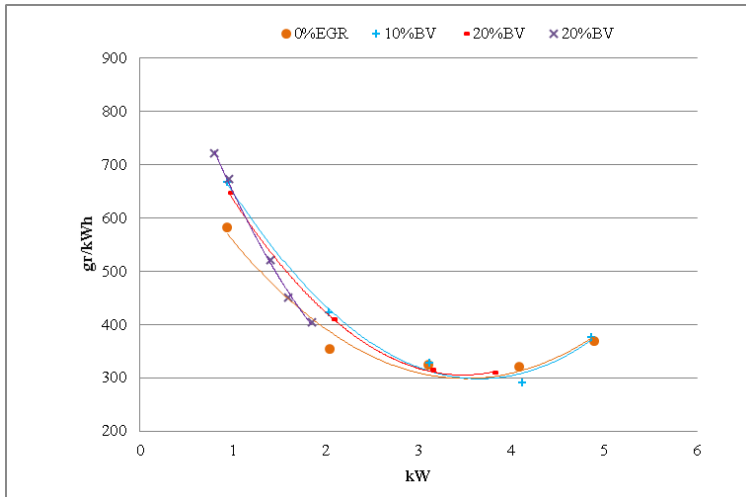
Tabel 30% EGR menggunakan *Ball Valve*

| RPM | Beban | RPM Engine | RPM Genrator | Volt | Arus | Cos Φ | Bahan Bakar | | Power (Kw) | Torsi (Nm) | BMEP (N/m2) | SFOC (gr/kWh) |
|------|-------|---------------|-----------------|------|------|----------|-------------|-------|---------------|---------------|----------------|------------------|
| | | | | | | | Volume | t(s) | | | | |
| 1800 | 1000 | 1801 | 1302 | 178 | 3,4 | 0,9 | 10ml | 55,95 | 0,647 | 3,432 | 13924,052 | 845,311 |
| 1800 | 2000 | 1802 | 1302 | 189 | 7,5 | 0,9 | 10ml | 45,56 | 1,516 | 8,039 | 32612,927 | 442,963 |
| 1800 | 3000 | 1800 | 1294 | 190 | 8,6 | 0,9 | 10ml | 34,96 | 1,757 | 9,324 | 37826,44 | 498,261 |
| 1900 | 1000 | 1902 | 1377 | 195 | 3,6 | 0,9 | 10ml | 55,66 | 0,749 | 3,764 | 15271,471 | 733,604 |
| 1900 | 2000 | 1899 | 1367 | 201 | 7,8 | 0,9 | 10ml | 39,68 | 1,683 | 8,468 | 34355,783 | 458,142 |
| 1900 | 2500 | 1900 | 1362 | 199 | 8,7 | 0,9 | 10ml | 33,23 | 1,867 | 9,386 | 38077,894 | 493,332 |
| 2000 | 1000 | 2002 | 1446 | 209 | 3,8 | 0,9 | 10ml | 49,84 | 0,850 | 4,055 | 16452,78 | 722,462 |
| 2000 | 2000 | 2000 | 1442 | 215 | 8 | 0,9 | 10ml | 38,08 | 1,844 | 8,807 | 35730,647 | 435,841 |
| 2000 | 2200 | 2001 | 1438 | 216 | 8,5 | 0,9 | 10ml | 30,11 | 1,975 | 9,427 | 38246,482 | 514,691 |
| 2100 | 1000 | 2098 | 1514 | 224 | 4 | 0,9 | 10ml | 47,46 | 0,960 | 4,369 | 17728,004 | 671,898 |
| 2100 | 1800 | 2100 | 1500 | 231 | 7,4 | 0,9 | 10ml | 41 | 1,850 | 8,414 | 34137,376 | 403,518 |
| 2200 | 1000 | 2202 | 1590 | 241 | 4,2 | 0,9 | 10ml | 45,59 | 1,083 | 4,700 | 19069,834 | 619,530 |
| 2200 | 1800 | 2202 | 1587 | 246 | 7,2 | 0,9 | 10ml | 38 | 1,899 | 8,241 | 33432,463 | 423,962 |

Lampiran II. Grafik SFOC vs %EGR



Gambar SFOC vs %EGR menggunakan *angle globe EGR valve*



Gambar SFOC vs %EGR menggunakan *ball valve*

Lampiran III. Test Cycle point data proses pembakaran dan nilai No_x

Tabel MARPOL Annex VI, Appendix II Test Cycle

| | | | | | |
|-----------------------------|------------------|------|------|------|------|
| test cycle type E2 | Speed | 100% | 100% | 100% | 100% |
| | Power | 25% | 75% | 50% | 100% |
| | Weight Factor | 0,2 | 0,5 | 0,15 | 0,15 |

Tabel Titik test cycle pada 0%EGR

| | | | | | |
|-----------------------------|----------------|------|------|------|------|
| test cycle type E2 | Speed (RPM) | 100% | 100% | 100% | 100% |
| | | 2200 | 2200 | 2200 | 2200 |
| | Power (kW) | 100% | 75% | 50% | 25% |
| | | 4,48 | 3,38 | 2,2 | 1,02 |

Tabel Titik test cycle pada 10% angle globe EGR valve

| | | | | | |
|-----------------------------|----------------|------|------|------|------|
| test cycle type E2 | Speed (RPM) | 100% | 100% | 100% | 100% |
| | | 2200 | 2200 | 2200 | 2200 |
| | Power (kW) | 100% | 75% | 50% | 25% |
| | | 4,50 | 3,40 | 2,23 | 1,04 |

Tabel Titik test cycle pada 20% angle globe EGR valve

| | | | | | |
|-----------------------------|----------------|------|------|------|------|
| test cycle type E2 | Speed (RPM) | 100% | 100% | 100% | 100% |
| | | 2100 | 2100 | 2100 | 2100 |
| | Power (kW) | 100% | 75% | 50% | 25% |
| | | 4,04 | 3,13 | 2,03 | 0,96 |

Tabel Titik test cycle pada 10% ball valve

| | | | | | |
|-----------------------------|----------------|------|------|------|------|
| test cycle type E2 | Speed (RPM) | 100% | 100% | 100% | 100% |
| | | 2200 | 2200 | 2200 | 2200 |
| | Power (kW) | 100% | 75% | 50% | 25% |
| | | 4,5 | 3,42 | 2,24 | 1,05 |

Tabel Titik test cycle pada 20% ball valve

| | | | | | |
|-----------------------------|----------------|------|------|------|------|
| test cycle type E2 | Speed (RPM) | 100% | 100% | 100% | 100% |
| | | 2100 | 2100 | 2100 | 2100 |
| | Power (kW) | 100% | 75% | 50% | 25% |
| | | 3,81 | 3,13 | 2,07 | 0,95 |

Lampiran IV. Rumus Perhitungan Performansi

- Daya Motor

Daya motor adalah parameter dalam menentukan performa motor. Pengertian dari daya itu adalah besarnya kerja motor dalam kurun waktu tertentu.

$$P = \frac{v \times i \times \cos \emptyset}{\text{eff gen} \times \text{eff slip}}$$

Dimana :

| | |
|-----------------|------------------------------|
| P | : daya (kW) |
| V | : tegangan listrik (Volt) |
| I | : arus listrik (Ampere) |
| Cos \emptyset | : 0.9 |
| Eff Gen | : efisiensi generator (0.85) |
| Eff Slip | : effisisensi slip (hitung) |

- Specific Fuel Oil Consumption (SFOC)

Konsumsi bahan bakar spesifik atau Specific Fuel Oil Consumption (SFOC) adalah parameter unjuk kerja motor yang berhubungan langsung dengan nilai ekonomis sebuah motor, karena dengan mengetahui hal ini dapat dihitung jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan sejumlah daya dalam selang waktu tertentu.

$$FCR = \frac{v \times \rho}{t}$$

Dimana :

| | |
|--------|---|
| FCR | : laju aliran bahan bakar (gr/h) |
| ρ | : massa jenis bahan bakar (gr/m ³) |
| v | : volume bahan bakar (m ³) |
| t | : waktu yang diperlukan menghabiskan bahan bakar sebanyak 10 ml |

$$SFOC = \frac{FCR}{P}$$

Dimana :

SFOC : konsumsi spesifik bahan bakar
(gr/kWh)

FCR : laju aliran bahan bakar (gr/h)

P : daya (kW)

- Torsi

Besaran torsi adalah besaran turunan yang biasa digunakan untuk menghitung energi yang dihasilkan dari benda yang berputar pada porosnya.

$$T = \frac{P \times 60000}{2 \pi \times rpm}$$

Dimana :

T : torsi (Nm)

P : daya (kW)

Rpm : putaran motor diesel (rpm)

- BMEP

Tekanan efektif rata-rata didefinisikan sebagai tekanan efektif dari fluida kerja terhadap piston sepanjang langkahnya untuk menghasilkan kerja per-siklus.

$$BMEP = \frac{P \times Z \times 1000}{V \times 2 \times 3,14 \times rps \times i}$$

Dimana :

BMEP : tekanan efektif rata-rata (N/m²)

P : daya (kW)

Z : konstanta 2 untuk 4-stroke

V : volume langkah (m³)

I : jumlah silinder

Lampiran V. Hasil Emisi No_x Dan Konversi

| % EGR | load | FCR | power | Nox | | | | | | | |
|--------|-----------|---------|-------|------|---------|---------|-------|-------------|------------|--------------|-------|
| | | (gr/h) | (Kw) | ppm | convert | mg/kWh | g/kWh | %excess Air | K multiply | weigh factor | g/kWh |
| 0% | 25% load | 595.33 | 1.02 | 4211 | 1.76 | 7411.36 | 7.41 | 5.21 | 1.34 | 0.15 | 11.42 |
| | 50% load | 908.01 | 2.17 | 4266 | 1.76 | 7508.16 | 7.51 | 4.22 | 1.26 | 0.15 | 10.91 |
| | 75% load | 1154.72 | 3.38 | 2567 | 1.76 | 4517.92 | 4.52 | 3.85 | 1.24 | 0.5 | 8.37 |
| | 100% load | 1514.85 | 4.48 | 1911 | 1.76 | 3363.36 | 3.36 | 2.64 | 1.14 | 0.2 | 4.61 |
| 10%AGV | 25% | 651.06 | 1.04 | 3233 | 1.76 | 5690.08 | 5.69 | 5.54 | 1.36 | 0.15 | 8.93 |
| | 50% | 784.62 | 2.23 | 3288 | 1.76 | 5786.88 | 5.79 | 4.55 | 1.29 | 0.15 | 8.58 |
| | 75% | 1092.86 | 3.40 | 1589 | 1.76 | 2796.64 | 2.80 | 4.18 | 1.26 | 0.5 | 5.29 |
| | 100% | 1443.40 | 4.50 | 878 | 1.76 | 1545.28 | 1.55 | 2.97 | 1.17 | 0.2 | 2.17 |
| 20%AGV | 25% | 600.00 | 0.96 | 2735 | 1.76 | 4813.6 | 4.81 | 5.65 | 1.37 | 0.15 | 7.60 |
| | 50% | 827.03 | 2.03 | 2790 | 1.76 | 4910.4 | 4.91 | 4.66 | 1.30 | 0.15 | 7.33 |
| | 75% | 1020.00 | 3.13 | 1091 | 1.76 | 1920.16 | 1.92 | 4.29 | 1.27 | 0.5 | 3.65 |
| | 100% | 1275.00 | 4.04 | 435 | 1.76 | 765.6 | 0.77 | 3.08 | 1.18 | 0.2 | 1.08 |
| 10%BV | 25% | 630.93 | 1.05 | 3444 | 1.76 | 6061.44 | 6.06 | 5.69 | 1.38 | 0.15 | 9.59 |
| | 50% | 853.08 | 2.24 | 3499 | 1.76 | 6158.24 | 6.16 | 4.70 | 1.30 | 0.15 | 9.21 |
| | 75% | 1093.25 | 3.42 | 1800 | 1.76 | 3168 | 3.17 | 4.33 | 1.27 | 0.5 | 6.04 |
| | 100% | 1355.78 | 4.50 | 1089 | 1.76 | 1916.64 | 1.92 | 3.12 | 1.18 | 0.2 | 2.71 |
| 20%BV | 25% | 620.56 | 0.96 | 2865 | 1.76 | 5042.4 | 5.04 | 5.80 | 1.38 | 0.15 | 8.03 |
| | 50% | 846.94 | 2.07 | 2920 | 1.76 | 5139.2 | 5.14 | 4.81 | 1.31 | 0.15 | 7.73 |
| | 75% | 987.10 | 3.13 | 1221 | 1.76 | 2148.96 | 2.15 | 4.44 | 1.28 | 0.5 | 4.13 |
| | 100% | 1176.92 | 3.81 | 565 | 1.76 | 994.4 | 0.99 | 3.23 | 1.19 | 0.2 | 1.42 |

LAMPIRAN VI. Hasil Data NO_x Dari Exhaust Gas Analyzer

| | |
|--|----------------------------------|
| Laboratorium Energi LPPM ITS Gedung Robotika Lt. 2 Kampus ITS Sukolilo Surabaya, (031) 996931-32 | |
| Kode Sampel : E1 - 0546 | Tanggal Terima : 21 Nop 2016 |
| Nama Sampel : SCR / EGR | Tanggal Pengiriman : 25 Nop 2016 |
| Jenis Uji : Uji Emission | Tanggal Selesai : 25 Nop 2016 |
| Metode Uji : | Diperiksa Oleh : JH |
| 0% EGR | |
| <pre> ***** * E C O M - J 2 K N * ***** Date Time 11.25.16 09:00 AM Gas analysis ----- Fuel type Gas-Natural ----- T.Air 83 % T.Gas 633 % T.Sensor 83 % O2 18.2 % NO 6002 ppm SO2 8002 ppm H2 8002 ppm CO2 1.7 % EFF. 35.32 % Losses 75.77 % Exc. air 2.64 % ECOM America Ltd. 1628 Oakbrook Drive Gainesville Georgia 30607 Tel. 770-532-3280 Fax. 770-532-3638 Toll-Free 877-326-6411 www.ecomusa.com </pre> | |
| <pre> ***** * E C O M - J 2 K N * ***** Date Time 11.25.16 09:04 AM Gas analysis ----- Fuel type Gas-Natural ----- T.Air 83 % T.Gas 640 % T.Sensor 86 % O2 19.7 % NO 6002 ppm SO2 8002 ppm H2 8002 ppm CO2 1.7 % EFF. 35.7 % Losses 65.77 % Exc. air 3.85 % ECOM America Ltd. 1628 Oakbrook Drive Gainesville Georgia 30607 Tel. 770-532-3280 Fax. 770-532-3638 Toll-Free 877-326-6411 www.ecomusa.com </pre> | |
| <pre> ***** * E C O M - J 2 K N * ***** Date Time 11.25.16 09:19 AM Gas analysis ----- Fuel type Gas-Natural ----- T.Air 84 % T.Gas 633 % T.Sensor 85 % O2 18.2 % NO 6002 ppm SO2 8002 ppm H2 8002 ppm CO2 1.7 % EFF. 36.7 % Losses 64.32 % Exc. air 4.22 % ECOM America Ltd. 1628 Oakbrook Drive Gainesville Georgia 30607 Tel. 770-532-3280 Fax. 770-532-3638 Toll-Free 877-326-6411 www.ecomusa.com </pre> | |
| <pre> ***** * E C O M - J 2 K N * ***** Date Time 11.25.16 09:54 AM Gas analysis ----- Fuel type Gas-Natural ----- T.Air 81 % T.Gas 633 % T.Sensor 83 % O2 17.7 % NO 4211 ppm SO2 8002 ppm H2 8002 ppm CO2 1.8 % EFF. 35.67 % Losses 71.05 % Exc. air 5.21 % ECOM America Ltd. 1628 Oakbrook Drive Gainesville Georgia 30607 Tel. 770-532-3280 Fax. 770-532-3638 Toll-Free 877-326-6411 www.ecomusa.com </pre> | |

Gambar. Hasil data NO_x pada 0% EGR

| | |
|-------------------------|----------------------------------|
| Kode Sampel : EL-877 | Tanggal Terima : 21 Nov 2016 |
| Nama Sampel : STA / ESR | Tanggal Pengiriman : 25 Nov 2016 |
| Jenis Uji : Uji Emisi | Tanggal Selesai : 21 Nov 2016 |
| Metode Uji : | Diperiksa Oleh : JH |

10% AGV

```

*****
* E C O H - 1 2 K N *
*****
Date      Time
11.25.16  09:28 PM

Gas analysis
Fuel type  Gas-natural
T-Air      87 °F
T-Gas      698 °F
T-Sensor   86 °F
O2          20.5 %
NO          8802 878 ppm
CO          8802 0 ppm
H2          8802 0 ppm
CO2         1.8 %
EFF         35.7 %
Losses      79.76 %
Exc. air    2.97

ECOH America Ltd.
1628 Oakbrook Drive
Gainesville
Georgia 30607
Tel : 770-532-3280
Fax : 770-532-3628
Toll-Free 877-326-6411
www.ecohusa.com
    
```

```

*****
* E C O H - 1 2 K N *
*****
Date      Time
11.25.16  09:14 PM

Gas analysis
Fuel type  Gas-natural
T-Air      86 °F
T-Gas      678 °F
T-Sensor   87 °F
O2          17.7 %
NO          8802 1589 ppm
CO          8802 0 ppm
H2          8802 0 ppm
CO2         1.7 %
EFF         37.13 %
Losses      85.6 %
Exc. air    4.18

ECOH America Ltd.
1628 Oakbrook Drive
Gainesville
Georgia 30607
Tel : 770-532-3280
Fax : 770-532-3628
Toll-Free 877-326-6411
www.ecohusa.com
    
```

```

*****
* E C O H - 1 2 K N *
*****
Date      Time
11.25.16  09:19 PM

Gas analysis
Fuel type  Gas-natural
T-Air      87 °F
T-Gas      637 °F
T-Sensor   85 °F
O2          19.7 %
NO          8802 1588 ppm
CO          8802 0 ppm
H2          8802 0 ppm
CO2         1.6 %
EFF         38.43 %
Losses      76.6 %
Exc. air    4.95

ECOH America Ltd.
1628 Oakbrook Drive
Gainesville
Georgia 30607
Tel : 770-532-3280
Fax : 770-532-3628
Toll-Free 877-326-6411
www.ecohusa.com
    
```

```

*****
* E C O H - 1 2 K N *
*****
Date      Time
11.25.16  09:14 PM

Gas analysis
Fuel type  Gas-natural
T-Air      84 °F
T-Gas      646 °F
T-Sensor   85 °F
O2          19.7 %
NO          8802 1313 ppm
CO          8802 0 ppm
H2          8802 0 ppm
CO2         1.7 %
EFF         35.77 %
Losses      86.43 %
Exc. air    5.14

ECOH America Ltd.
1628 Oakbrook Drive
Gainesville
Georgia 30607
Tel : 770-532-3280
Fax : 770-532-3628
Toll-Free 877-326-6411
www.ecohusa.com
    
```

Gambar. Hasil data NO_x pada 10%AGV

Laboratorium Energi LPPM ITS
Gedung Robotika Lt. 2 Kampus ITS Sukolilo Surabaya, 03191996931-32

| | |
|-------------------------|----------------------------------|
| Kode Sampel : E1 - 0543 | Tanggal Terima : 24 Nov 2016 |
| Nama Sampel : 66F | Tanggal Pengerjaan : 30 Nov 2016 |
| Jenis Uji : Uji Emisi | Tanggal Selesai : 30 Nov 2016 |
| Metode Uji : | Diperiksa Oleh : Jua |

10% BV

```
*****
* ECOM-32KN *
Date      Time
11.30.16 09:57 PM
Gas analysis
Fuel type
Gas-Natural
T-Air      87 °F
T-Gas      444 °F
T-Sensor   85 °F
CO         39,5 ppm
NO         8802 ppm
SO2        0 ppm
H2         8802 ppm
CO2        1,8 ppm
EFF.       38,0 %
Losses     62,0 %
Exc. air   9,23 %
ECOM America Ltd.
1628 Oakbrook Drive
Gainesville
Georgia 30607
Tel. 770-532-3200
Fax : 770-532-3620
Toll-Free 877-326-6411
www.ecomusa.com
```

```
*****
* ECOM-32KB *
Date      Time
11.30.16 09:52 PM
Gas analysis
Fuel type
Gas-Natural
T-Air      87 °F
T-Gas      640 °F
T-Sensor   87 °F
CO         28,7 ppm
NO         8802 ppm
SO2        0 ppm
H2         8802 ppm
CO2        1,8 ppm
EFF.       37,1 %
Losses     62,9 %
Exc. air   9,23 %
ECOM America Ltd.
1628 Oakbrook Drive
Gainesville
Georgia 30607
Tel. 770-532-3200
Fax : 770-532-3620
Toll-Free 877-326-6411
www.ecomusa.com
```

```
*****
* ECOM-32KN *
Date      Time
11.30.16 08:07 PM
Gas analysis
Fuel type
Gas-Natural
T-Air      88 °F
T-Gas      620 °F
T-Sensor   85 °F
CO         36,8 ppm
NO         8802 ppm
SO2        0 ppm
H2         8802 ppm
CO2        1,7 ppm
EFF.       36,3 %
Losses     61,7 %
Exc. air   9,17 %
ECOM America Ltd.
1628 Oakbrook Drive
Gainesville
Georgia 30607
Tel. 770-532-3200
Fax : 770-532-3620
Toll-Free 877-326-6411
www.ecomusa.com
```

```
*****
* ECOM-32KN *
Date      Time
11.30.16 09:42 PM
Gas analysis
Fuel type
Gas-Natural
T-Air      87 °F
T-Gas      632 °F
T-Sensor   85 °F
CO         39,7 ppm
NO         8802 ppm
SO2        0 ppm
H2         8802 ppm
CO2        1,7 ppm
EFF.       42,2 %
Losses     57,8 %
Exc. air   9,69 %
ECOM America Ltd.
1628 Oakbrook Drive
Gainesville
Georgia 30607
Tel. 770-532-3200
Fax : 770-532-3620
Toll-Free 877-326-6411
www.ecomusa.com
```

Gambar. Hasil data NO_x pada 10%BV

| | |
|--------------------------|----------------------------------|
| Kode Sampel : E1-068 | Tanggal Terima : 21 Nop 2016 |
| Nama Sampel : SCR / EGR | Tanggal Pengerjaan : 25 Nop 2016 |
| Jenis Uji : Uji Emission | Tanggal Selesai : 25 Nop 2016 |
| Metode Uji : | Diperiksa Oleh : JH |

20% AGV

```
*****
* ECOM - J2KN *
*****
Date      Time
11.25.16 09:49 PM
-----
Gas analysis
Fuel type
Gas-natural
T-Air      %
T-Gas      %
T-Sensor   %
O2          %
NO          ppm
NO2         ppm
CO          ppm
CO2         ppm
HC          ppm
Losses     %
Exc. air   %
ECOM America Ltd.
1628 Oakbrook Drive
Gainesville
Georgia 30607
Tel : 770-532-3288
Fax : 770-532-3628
Toll-Free 877-326-6411
www.ecomusa.com
```

```
*****
* ECOM - J2KN *
*****
Date      Time
11.25.16 09:44 PM
-----
Gas analysis
Fuel type
Gas-natural
T-Air      %
T-Gas      %
T-Sensor   %
O2          %
NO          ppm
NO2         ppm
CO          ppm
CO2         ppm
HC          ppm
Losses     %
Exc. air   %
ECOM America Ltd.
1628 Oakbrook Drive
Gainesville
Georgia 30607
Tel : 770-532-3288
Fax : 770-532-3628
Toll-Free 877-326-6411
www.ecomusa.com
```

```
*****
* ECOM - J2KN *
*****
Date      Time
11.26.16 09:39 PM
-----
Gas analysis
Fuel type
Gas-natural
T-Air      %
T-Gas      %
T-Sensor   %
O2          %
NO          ppm
NO2         ppm
CO          ppm
CO2         ppm
HC          ppm
Losses     %
Exc. air   %
ECOM America Ltd.
1628 Oakbrook Drive
Gainesville
Georgia 30607
Tel : 770-532-3288
Fax : 770-532-3628
Toll-Free 877-326-6411
www.ecomusa.com
```

```
*****
* ECOM - J2KN *
*****
Date      Time
11.25.16 09:34 PM
-----
Gas analysis
Fuel type
Gas-natural
T-Air      %
T-Gas      %
T-Sensor   %
O2          %
NO          ppm
NO2         ppm
CO          ppm
CO2         ppm
HC          ppm
Losses     %
Exc. air   %
ECOM America Ltd.
1628 Oakbrook Drive
Gainesville
Georgia 30607
Tel : 770-532-3288
Fax : 770-532-3628
Toll-Free 877-326-6411
www.ecomusa.com
```

Gambar. Hasil data NO_x pada 20%AGV

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Surabaya, 28 Oktober 1993, merupakan anak ke 3 dari 5 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di beberapa sekolah diantaranya SDN Pacarkeling VIII Surabaya, SMPN 6 Surabaya, dan SMKN 5 Surabaya. Penulis mengambil Jurusan Otomotif selama SMK dan melanjutkan ke jenjang Strata 1 di Departemen Teknik Sistem Perkapalan ITS pada tahun 2012 melalui program SNMPTN. Penulis terdaftar dengan NRP 4212 100 066. Penulis mengambil konsentrasi bidang studi *Marine Power Plant* (MPP). Selama berada di bangku perkuliahan, penulis aktif mengikuti beberapa Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) yang bergerak dalam bidang riset teknologi permesinan yaitu ITS team Sapuangin. Selain itu penulis sempat mengikuti beberapa perlombaan tingkat nasional hingga internasional serta memiliki beberapa prestasi unggulan seperti Mawapres Institut, Juara Prototipe Teknologi Maritim UNDIP, Juara Kontes Mobil Hemat Energi, Juara *Shell Eco Marathon Asia* dan *Best Efficient Formula Student Japan*. Selama semester akhir, penulis banyak menghabiskan waktu untuk menyelesaikan Tugas Akhir di Laboratorium *Marine Power Plant* (MPP) dan Getaran Mesin.